

**ZUM PROBLEM DER EFFIZIENZERMITTLUNG
INDUSTRIELLER FORSCHUNGS- UND
ENTWICKLUNGSBEREICHE**

**Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der
wirtschaftlichen Staatswissenschaften
(Dr. rer. pol.)
des Fachbereichs Rechts- und
Wirtschaftswissenschaften**

der

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Diplom-Volkswirt Ralf Conen

Bernkastel-Kues

1986



Digitized by the Internet Archive
in 2026

ZUM PROBLEM DER EFFIZIENZ-
ERMITTLUNG INDUSTRIELLER FORSCHUNGS-
UND ENTWICKLUNGSBEREICHE

Dissertation

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der
wirtschaftlichen Staatswissenschaften
(Dr. rer. pol.)
des Fachbereichs Rechts- und
Wirtschaftswissenschaften

der

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Diplom-Volkswirt Ralf Conen

Bernkastel-Kues

1986

Erstberichterstatter: Prof. Dr. J. Knoth

Datum der Berichterstattung: 18.03.1986

Zweitberichterstatter: Prof. Dr. K. Backhaus

Datum der Berichterstattung: 07.04.1986

Tag der mündlichen Prüfung: 28.04.1986

Dreissig Speichen treffen die Nabe/
Die Leere dazwischen macht das Rad.
Lehm formt der Töpfer zu Gefäßen/
Die Leere darinnen macht das Gefäß.
Fenster und Türen bricht man in Mauern/
Die Leere damitten macht die Behausung.
Das Sichtbare bildet die Form eines Werkes.
Das Nicht-Sichtbare macht seinen Wert aus.

Laotse

Meinen Eltern

GLIEDERUNG :

Seite

Verzeichnis der Abbildungen

Verzeichnis der Tabellen

Abkürzungsverzeichnis

1	GRUNDLAGEN	1
1 1	Forschung und Entwicklung als Entstehungsfaktor des technischen Fortschritts	1
1 2	Forschung und Entwicklung als industrielle Tätigkeit	5
1 2 1	Entstehung, Bedeutung und Umfang industrieller Forschung und Entwicklung	5
1 2 2	Begriff und Wesen industrieller Forschung und Entwicklung	19
1 2 2.1	Begriffsbestimmung industrieller Forschung und Entwicklung	19
1 2 2.2	Stufen industrieller Forschung und Entwicklung	22
1 2 2.2 1	Grundlagenforschung	22
1 2 2.2 2	Angewandte Forschung	24
1 2 2.2 3	Entwicklung	26
1 2 2.3	Formen industrieller Forschung und Entwicklung	27
1 2 2.3 1	Unternehmenseigene Forschung und Entwicklung	27
1 2 2.3 2	Vertrags- und Auftragsforschung	29
1 2 2.3 3	Gemeinschaftsforschung	30
1 2 2.4	Unsicherheit und Risiko industrieller Forschung und Entwicklung	32
1 2 3	Unternehmensziele und Forschungs- und Entwicklungsziele	39
1 2 4	Managementprobleme industrieller Forschung und Entwicklung	49

2	FORSCHUNGSERFOLG, ERFOLGSMASSTÄBE UND EFFIZIENZ	58
	INDUSTRIELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG	
2 1	Die Notwendigkeit der Erfolgsbewertung industrieller Forschung und Entwicklung-Bewertungsanlässe und Bewertungsziele	58
2 2	Anforderungen an ein System zur Erfolgsbewertung industrieller Forschung und Entwicklung	63
2 3	Methoden zur Effizienzermittlung industrieller Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche - Darstellung und Kritik	65
2 3 1	Überblick	65
2 3 2	Inputmaße	68
2 3 3	Outputmaße	72
2 3 3.1	Patente	72
2 3 3.2	Am Berichtswesen von Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche orientierte Outputmaße - Forschungsberichte, Publikationen, Anzahl der Zitierungen	75
2 3 3.3	Innovationen und Innovationsraten	79
2 3 3.4	Weitere am Forschungs- und Entwicklungs-Output orientierte Bewertungsmaße	82
2 3 5	Verknüpfung von Input- und Outputmaßen	83
2 3 5.1	Verhältniszahlen	83
2 3 5.2	Forschungs- und Entwicklungs-Produktionsfunktionen	85
2 3 6	Ansätze zur Messung des ökonomischen Erfolges von Forschungs- und Entwicklungs-Bereichen	93
2 3 7	Ganzheitliche Bewertungsmethoden	95
2 3 8	Mehrdimensionale Beurteilungsverfahren	98

	Seite
2 3 8.1 Überblick	98
2 3 8.2 Checklisten	99
2 3 8.3 Wertprofile	101
2 3 8.4 Punktbewertungsmethoden, Nutzwert- analysen	102
2 4 Individuelle versus multipersonale Urteils- findung	117
2 5 Allgemeine Kritik der Verfahren im Hinblick auf die Anforderungen an ein System zur For- schungs- und Entwicklungs-Effizienzermittlung	122
3 DIE TECHNIK DER BEWERTUNG INDUSTRIELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG MIT HILFE DER MUSTERERKENNUNG UND DER VARIANZANALYSE	124
3 1 Grundlegende Überlegungen	124
3 2 Methodologische Darstellung	126
3 2 1 Verfahrensbausteine	126
3 2 2 Extraktion typischer Querschnittsprofile in- dustrieller Forschung und Entwicklung mit Hilfe der Mustererkennung	130
3 2 2.1 Die Theorie der Mustererkennung	130
3 2 2.1 1 Einführender Überblick	130
3 2 2.1 2 Anwendungsgebiete der Musterer- kennung	133
3 2 2.1 3 Komponenten der Mustererkennung	136
3 2 2.1 3 1 Merkmalsselektion und -extrak- tion	136
3 2 2.1 3 2 Klassifikation	141
3 2 2.2 Anwendung der Mustererkennung im spezi- ellen Fall der Forschungs- und Entwick- lungs-Musterextraktion	149

	Seite
3 2 2.2 1 Definition der Datenbasis	149
3 2 2.2 1 1 Anforderungen an das Informationsniveau	149
3 2 2.2 1 2 Auswahl der Objekte	150
3 2 2.2 1 3 Merkmale zur Klassifikation industrieller Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche	152
3 2 2.2 2 Klassifikation der Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche	168
3 2 2.2 2 1 Klassifikation der Forschungs- und Entwicklung-Muster mit Hilfe der Clusteranalyse	168
3 2 2.2 2 2 Quantifizierung der Ähnlichkeit bzw. Distanz der Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche	169
3 2 2.2 2 3 Auswahl eines geeigneten Klassifizierungsalgorithmus	176
3 2 3 Filterung erfolgreicher Forschungs und Entwicklungs-Muster mit Hilfe der Varianzanalyse	190
3 2 3.1 Ziele der Varianzanalyse	190
3 2 3.2 Anwendungsbezogene methodologische Darstellung der Varianzanalyse	193
3 2 3.2 1 Forschungs- und Entwicklungs-Musterklassen als unabhängige, Rendite als abhängige Variable	193
3 2 3.2 2 Rechenschritte bei der univariaten Varianzanalyse	195
3 2 3.2 3 Analyse von Mittelwertsunterschieden nach vollzogener Varianzanalyse	200
3 2 3.2 4 Voraussetzungen der Varianzanalyse	202
4 EMPIRISCHE ÜBERPRÜFUNG DES MODELLS ZUR FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGS-EFFIZIENZANALYSE	207
4 1 Die Daten der Untersuchung	207

	Seite
4 2 Die Merkmalsvorverarbeitung	208
4 3 Ergebnisse der empirischen Analysen	210
4 3 1 Empirisch gewonnene Musterklassen indu- strieller Forschungs- und Entwicklungs- Bereiche	210
4 3 2 Analyse der Erfolgsunterschiede der ermittelten Musterklassen	215
4 3 3 Charakterisierung der Forschungs- und Entwicklungs-Musterklassen	219
 5 BEURTEILUNG DES VERFAHRENS ZUR ANALYSE INDUSTRIELLER FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGS-BEREICHE	223
 5 1 Zusammenfassender Überblick der Forschungs- und Entwicklungs-Effizienzanalyse	223
5 2 Aussagekraft und Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse	227
5 3 Aspekte des praktischen Einsatzes der For- schungs- und Entwicklungs-Effizienzanalyse	229

Anhang I - V

Literaturverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Entwicklungsdauer typischer technischer Erfindungen während der letzten dreihundert Jahre
- Abb. 2: Überlebenschancen in der US-Halbleiter-Industrie von 1955 bis 1980
- Abb. 3: FE-Aufwendungen und Produktionskapazitätenwachstum ausgewählter Industriezweige in den USA von 1950 bis 1959
- Abb. 4: BSP (in jeweiligen Preisen) und FE-Aufwendungen in der Wirtschaft von 1962 bis 1963, BSP in Mrd., FE in Mio. (logarithmischer Maßstab)
- Abb. 5: Anteil der FE-Ausgaben in der Wirtschaft am BSP (in jeweiligen Preisen) von 1962 bis 1983 (in Prozent)
- Abb. 6: Wachstumsraten der FE-Ausgaben in der Wirtschaft (jeweils auf Vorjahresbasis) von 1963 bis 1983
- Abb. 7: Gesamtzahl aller Erwerbstätigen und der Beschäftigten in der industriellen FE von 1970 bis 1983
- Abb. 8: Relative FE-Aufwendungen in ausgewählten Wirtschaftszweigen 1975 und 1977
- Abb. 9: Innovationsphasen, innovative Tätigkeiten, Primärergebnisse, Fortschritts- und Innovationsarten
- Abb. 10: Überblick traditioneller Ansätze der FE-Effizienzermittlung
- Abb. 11: Ermittlung einer Rangreihe von Beurteilungsobjekten nach dem Halbmatrizenverfahren
- Abb. 12: Allgemeines Ablaufschema der Nutzwertanalyse
- Abb. 13: Einteilung der Verfahren der Dependenzanalyse
- Abb. 14: Bausteine der FE-Effizienzanalyse
- Abb. 15: Arten von Mustern
- Abb. 16: Klassifikationsprobleme unterschiedlicher Komplexität
- Abb. 17: Unterschiedliche Clusterung von Kfz in Abhängigkeit der Feinheit von Maßeinheiten

- Abb. 18: Untergliederungstypen von FE-Subsystemen
- Abb. 19: Eingliederungsmöglichkeiten des FE-Subsystems in das Unternehmen
- Abb. 20: Ausgangsdaten- und Distanzmatrix für die Clusteranalyse
- Abb. 21: Konstruktionsprinzip eines Dendrogramms bei hierarchischen Verfahren
- Abb. 22: Elbow-Kriterium
- Abb. 23: Ergebnistableau der zweiseitigen Clusteranalyse
- Abb. 24: Musterhüllkurve für Unternehmen der Fluglinienbranche
- Abb. 25: Dendrogramm der Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren mit 44 binären Variablen
- Abb. 26: Elbow-Kriterium für die Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren mit 44 binären Variablen
- Abb. 27: Klassifikationsmatrix der stufenweisen Diskriminanzanalyse
- Abb. 28: Trennwirksame Variable nach der stufenweisen Diskriminanzanalyse
- Abb. 29: Ergebnisse der Varianzanalyse
- Abb. 30: Prozentuale Häufigkeiten der Variablen bei der Zwei-Cluster-Lösung

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Daten zur industriellen FE in der Bundes-
 republik
- Tab. 2: Vierfeldertafel
- Tab. 3: Wichtige Ähnlichkeits- und Distanzfunktio-
 nen für binäre Variable
- Tab. 4: Wichtige agglomerative Verfahren
- Tab. 5: Wertetabelle für die Varianzanalyse
- Tab. 6: Prozentuale Häufigkeiten der Merkmale zur
 Charakterisierung industrieller FE-Bereiche

Abkürzungsverzeichnis:

a.a.O.	am angegebenen Ort
Abb.	Abbildung
AER	American Economic Review
ASQ	Administrative Science Quarterly
Aufl.	Auflage
Bd.	Band
BFuP	Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis
bzw.	beziehungsweise
DB	Der Betrieb
ders.	derselbe
d.h.	das heißt
Diss.	Dissertation
EM	Transaction on Engineering Manage- ment
f.	folgende
ff	fortfolgende
H.	Heft
HBR	Harvard Business Review
HdWW	Handwörterbuch der Wirtschaftswis- sensschaften
Hrsg.	Herausgeber
HWB	Handwörterbuch der Betriebswirt- schaft
HWO	Handwörterbuch der Organisation
HWProd	Handwörterbuch der Produktionswis- senschaft
i.d.R.	in der Regel
IEEE	Institute of Electrical and Elec- tronics Engineers
insb.	insbesondere
IO	Industrielle Organisation
IRE	Institute of Radio Engineers
i.V.	in Vorbereitung
JAP	Journal of Applied Psychology
Jg.	Jahrgang
JIE	The Journal of Industrial Economics
JoB	Journal of Business
JPE	The Journal of Political Economy
Kap.	Kapitel
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MS	Management Science
Nr.	Nummer
o.D.	ohne Datum
o.S.	ohne Seitenangabe
RES	The Review of Economics and Statis- tics
RDM	R+D Management
s.	siehe
S.	Seite
s.o.	siehe oben
sog.	sogenannt
Sp.	Spalte
Tab.	Tabelle
Vol.	Volume

WiSt	Wirtschaftswissenschaftliches Studium
z.B.	zum Beispiel
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfbF	Zeitschrift für betriebswirtschaft- liche Forschung
ZfO	Zeitschrift für Organisation

1 GRUNDLAGEN

1 1 Forschung und Entwicklung als Entstehungsfaktor des technischen Fortschritts

Die mit Forschung und Entwicklung (FE) verbundenen Tätigkeiten schaffen die Grundlagen, auf denen aufbauend technischer Fortschritt stattfinden kann.

Technischer Fortschritt, in seinen Erscheinungsformen als Anwendung neuer Produktionsverfahren, Schaffung neuer oder qualitativ verbesserter Güter und Entwicklung bzw. Nutzbarmachung neuer Mittel und Wege zur verbesserten Bedürfnisbefriedigung¹⁾, ist wiederum ein wesentlicher Einflußfaktor wirtschaftlichen Wachstums²⁾.

In dieser Eigenschaft wirkt der technische Fortschritt nicht nur wohlstandsfördernd im Sinne von Realeinkommenserhöhungen, er bewirkt zugleich auch Strukturveränderungen in wirtschaftlicher, technischer und sozialer Hinsicht³⁾.

Zwar wurde die volkswirtschaftliche Bedeutung des technischen Fortschritts schon von den Klassikern erkannt, erste Versuche zur Quantifizierung seiner Auswirkungen machte aber erst Solow. Er wies in seinen Untersuchungen nach, daß 87,5% des amerikanischen Wirtschaftswachstums, gemessen an der Steigerung der Arbeitsproduktivität, in den Jahren 1909 bis 1949 auf das von ihm sogenannte Residuum 'technical change' und nur 12,5% auf vermehrten Kapitaleinsatz zurückzuführen waren⁴⁾.

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Technischer Fortschritt, Überblick, in: HWW, S.569.

2) Vgl. Gries, Werner: Ausbildung, Forschung und Wirtschaftswachstum, Meisenheim am Glan 1971, S.15.

3) Vgl. Scholz, Lothar: Technologie und Innovation in der industriellen Entwicklung, Göttingen 1974, S.1; Pöhl, Karl-Otto: Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Fortschritts in den USA, Göttingen 1967, S.13ff.

4) Solow, R.M.: Technical Change and the Aggregate Production Function, in: RES, Vol.39, 1957, S.312-320.

Die Kritik an den Prämissen und Meßverfahren Solows¹⁾ führte zu einer Fülle weiterer Untersuchungen, deren gemeinsames Ziel die Einbindung des technischen Fortschritts in die allgemeine Produktions- und Wachstumstheorie war. Kennzeichnend für diese Entwicklung ist die Vielzahl der aus diesen Forschungsbemühungen entstandenen begrifflichen Differentiationen in z.B. autonomen und induzierten, ausbildungs- und sachkapitalgebundenen, arbeitssparenden und kapitalsparenden, faktorpreis- und faktoreinkommeninduzierten oder investitions- und nachfrageinduzierten technischen Fortschritt²⁾.

Vor allem die von Solow getroffene Annahme der konstanten Arbeitsleistung in der Zeit gab Anlaß zur Kritik. Impliziert diese Prämisse, daß Beiträge des Faktors Arbeit zum Wachstum nur dadurch erhöht werden können, daß die Zahl der sich im Erwerbsprozeß befindlichen Arbeitskräfte steigt, wird jedoch erhöhte Ausbringung pro Zeiteinheit auch durch verbesserte Ausbildung der Arbeitskräfte und vermehrte Anwendung erlernten Wissens erreicht³⁾.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen entstand auch der Ansatz von Arrow⁴⁾, in dem der technische Fortschritt als investitionsinduzierter, endogener Faktor aufgefaßt wird. Ausgangspunkt Arrows Untersuchungen war die These, daß mit jeder Kombination von neuen technischen und technologischen Erkenntnissen in Produktionsprozessen die Menschen lernen, dieses Produktionskapital besser zu handhaben. Diese Lerneffekte, die von der Bildung neuen Sachkapitals, also von der Vornahme von Bruttoinvestitionen abhängen, bringen neuen technischen Fortschritt hervor. Der technische Fortschritt ist gewissermaßen das Produkt der Lerneffekte, die über Erfahrung entstehen. Diese hängen ihrerseits wiederum

1) Zur Kritik s.u.a. Küng, Emil: Forschung und Produktivität, in: Volkswirtschaftliche Korrespondenz der Adolf-Weber-Stiftung, 4.Jg., 1965, Nr.34, o.S.

2) Vgl. Walter, Helmut: Technischer Fortschritt I: in der Volkswirtschaft, in: HWW, S.570.

3) Vgl. Küng, Emil, a.a.O.

4) S.Arrow, Kenneth J.: The Economic Implication of Learning by Doing, in: The Review of Economic Studies, Vol. 29, 1962, S.155-173.

von den kumulativen Bruttoinvestitionen ab. Je höher die Produktion, umso größer wird der Erfahrungsschatz. Umso höher ist dann auch das Wissensniveau und damit der Stand der Technik, der über die Produktionsfunktion wieder für höhere Produktion und zunehmenden Erfahrungsschatz sorgt¹⁾. Grundlagen für diese Lernhypothese bildeten empirische Beobachtungen beim Bau von Flugzeugkörpern, wo Messungen ergaben, daß bei einer Verdopplung des kumulativen Produktionsausstosses der direkte Arbeitseinsatz um 20% gesenkt werden konnte. Eine Verdopplung des Produktionsausstoßes war demgemäß mit einer nur 80%-igen Zunahme des direkten Arbeitseinsatzes zu erreichen.

Die Gewinnung der technischen Kenntnisse wird in all diesen Untersuchungen als exogener Tatbestand angesehen oder nur unzureichend berücksichtigt²⁾. So unterschied schon Schumpeter deutlich zwischen den Begriffen Innovation, von ihm verstanden als "jedes 'Andersmachen' im Gesamtbereich des Wirtschaftslebens"³⁾, und Erfindungen. Erfindungen selbst und die Umstände, unter denen sie gemacht werden, sind seines Erachtens für eine wirtschaftliche Analyse unbedeutend, sie gehören zu einer gänzlich anderen Sphäre⁴⁾.

Könnte diese Trennung noch solange akzeptiert werden, wie einzelne Erfinder durch ihre mehr oder weniger kreativen Fähigkeiten zur Schaffung neuen Wissens beitrugen, so ist dies spätestens seit Beginn des 20. Jahrhunderts nicht mehr möglich, da seit dieser Zeit der Schwerpunkt der Innovationsbemühungen im Bereich organisierter Unternehmenseinheiten mit institutionalisierten Forschungseinrichtungen liegt⁵⁾.

1) Vgl. Vogt, W.: Theorie des wirtschaftlichen Wachstums, Berlin - Frankfurt 1968; Walter, Helmut: Der technische Fortschritt in der neueren ökonomischen Theorie, Berlin 1969, S.221.

2) Vgl. Schröder, Hans-Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, Meisenheim am Glan 1973, S.8; Nelson, Richard R.: Introduction to: The Rate and Direction of Inventive Activity, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.): The Rate and Direction of Inventive Activity, Princeton 1962, S.3.

3) Schumpeter, Joseph A.: Konjunkturzyklen, Göttingen 1961, S.91.

4) Vgl. ebenda S.92f.

5) Vgl. Sanders, Barkev S.: Some Difficulties in Measuring

Die Beeinflussung der Unternehmen durch den technischen Fortschritt und die ständig wachsende Bedeutung neuer Prozesse und Produkte für das Wachstum industrieller Unternehmungen machten die Notwendigkeit deutlich, die Besonderheiten der Produktion neuen Wissens zu erkennen und diese Tätigkeiten unter dem Gesichtspunkt knapper Ressourcen effizient zu steuern. Unternehmen, die technischen Fortschritt aktiv mitgestalten und vorantreiben, können Fortschrittsgewinne verbuchen. Andere Unternehmen, die technischen Fortschritt lediglich hinnehmen, müssen über kurz oder lang mit der Entwertung ihres Bestandes an Produktionskapital rechnen¹⁾.

In dieser Eigenschaft ist der technische Fortschritt für das einzelne Unternehmen sowohl Entscheidungsparameter als auch Operationsvariable²⁾.

Voraussetzung für technische Innovationen ist das Verfügbarsein des dafür notwendigen technischen Wissens³⁾. Technisches Wissen entsteht aber durch Forschung und Entwicklung, deren überwiegender Teil von den Unternehmen sowohl organisiert als auch finanziert wird⁴⁾. Dies macht deutlich, daß der technische Fortschritt und seine Vorstufe, der technologische Fortschritt, also nicht nur die Anwen-

Inventive Activity, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.60f.

- 1) Vgl. Prosi, Gerhard: Technischer Fortschritt als mikroökonomisches Problem, Bern 1966, S.150f; Walter, Helmut: Der technische Fortschritt in der neueren ökonomischen Theorie, a.a.O., S.153f.
- 2) Vgl. Kortzfleisch, Gert von: Zur mikroökonomischen Problematik des technischen Fortschritts, in: Kortzfleisch, Gert von (Hrsg.): Die Betriebswirtschaftslehre in der zweiten industriellen Evolution, Berlin 1969, S.327.
- 3) Vgl. Kortzfleisch, Gert von: Forschungen über die Forschung und Entwicklung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.561; Strebel, Heinz: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmungen, Berlin 1968, S.28; Gries, Werner, a.a.O., S.16.
- 4) Vgl. Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft: Forschung und Entwicklung als Gegenstand unternehmerischer Entscheidungen, in: ZfbF, 20.Jg., 1968, S.552; Strebel, Heinz: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmungen, a.a.O., S.30.

dung, sondern auch die Schaffung neuen technischen Wissens, unter mikroökonomischen Gesichtspunkten zu ergründen ist.

In Bezug auf das einzelne Unternehmen kann von technischem Fortschritt gesprochen werden, wenn es diesem gelingt, eine Erfindung ökonomisch zu verwerten. Technischer Fortschritt ist demgemäß die Weiterführung des technologischen Fortschritts zu technischem Können und dessen Anwendung und Verwertung¹⁾.

Technischen Fortschritt in der Unternehmung voranzutreiben, ist folglich kein Selbstzweck, vielmehr wird seine Verwertung am Markt angestrebt. Daraus folgt unmittelbar das Suchen nach Effizienz- bzw. Beurteilungskriterien für die industrielle Forschung und Entwicklung in ihrer Eigenschaft als Quelle neuen technischen Wissens, um den Forschungs- und Entwicklungsprozeß im Sinne des Wirtschaftlichkeitsprinzips optimal zu gestalten.

1 2 Forschung und Entwicklung als industrielle Tätigkeit

1 2 1 Entstehung, Bedeutung und Umfang industrieller Forschung und Entwicklung

Der Ursprung industrieller FE kann in der Entstehung zweckgerichteter Großlabors gesehen werden, die vor allem auf Initiative der chemischen und elektrotechnischen Industrie gegen Ende des 19. Jahrhunderts in den USA und Europa gegründet wurden. Hier entstand zum ersten Male eine enge Verbindung von Wissenschaft und Technik insofern, als die Entdeckung naturwissenschaftlicher Phänomene und ihre Umsetzung in technisch nutzbare Erfindungen angestrebt wurde²⁾.

Daraus ist jedoch nicht zu schließen, daß in der Zeit davor überhaupt keine Forschung und Entwicklung betrieben worden wäre. Derek J. de Solla Price³⁾ weist darauf hin, daß

1) Vgl. Korztfleisch, Gert von: Zur mikroökonomischen Problematik des technischen Fortschritts, a.a.O., S.329.

2) Vgl. Bölkow, Ludwig: Finden und Durchführen von Großprojekten der Forschung und Entwicklung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.576f.

3) Vgl. Solla Price, Derek J. de: Little Science, Big Science, Columbia University Press, 1963, S.14f.

schon im 18. und 19. Jahrhundert der Umfang wissenschaftlicher Tätigkeit schnell wuchs, die absolute Höhe dieser Aktivitäten in dieser Zeit aber sehr gering war. Eine genaue Messung der systematischen Forschungsarbeit in dieser Zeit ist jedoch nicht möglich, da nur unvollkommene Angaben darüber vorhanden sind¹⁾. Die spärliche Publikationspolitik lag zum Teil auch in der Persönlichkeit der Forscher. Es herrschte der Typ des Einzelerfinders vor, dessen Forschungsaktivitäten zumeist auf amateurhafte Weise und nur unregelmäßig durchgeführt wurden. Dementsprechend war man der Auffassung, Forschung sei eine schöpferische Tätigkeit, die sich einer Ordnung und Systematisierung weitgehend entziehe²⁾. Der Erfindungsprozeß selbst wurde von Fähigkeiten bestimmt, die innerhalb des "biologischen Fassungsvermögens"³⁾ eines Individuums liegen. Die auf diese Weise gewonnenen Einfälle und Ideen wurden nur dann wirtschaftlich verwertet, wenn sie ohne große Modifikationen von einem Fabrikanten übernommen und vermarktet werden konnten. Mit fortschreitender Entwicklung und dem Aufkommen der industriellen Revolution, bedingt wiederum durch Erfindungen einzelner Personen, wie effizientere Rohstoffherzeugungsverfahren und vor allem der Dampfmaschine, breitete sich der Bedarf an mechanisch und technologisch höherwertigen Neuerungen rasch aus. Unternehmer erkannten zunehmend die Vorteilhaftigkeit der Verwertung technischer Verbesserungen zur Vereinnahmung der Schumpeter'schen Pioniergewinne und waren bemüht, die Kreativität eines Erfinders nicht nur durch Aufkauf seiner eher sporadisch anfallenden Ideen zu nutzen, sondern die Forscher zur dauerhaften Mitarbeit im

-
- 1) Vgl. Heuer, Georg Christian: Forschung und technischer Fortschritt, Meisenheim am Glan 1970, S.5.
 - 2) Vgl. Chorafas, D.N.: Die Aufgaben der Forschung in der modernen Unternehmung, München - Wien 1963, Vorwort S.9.
 - 3) Bölkow, Ludwig: Finden und Durchführen von Großprojekten der Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.573.

Unternehmen zu gewinnen¹⁾. Ein Beispiel für diese Entwicklung gibt H.Bredereck²⁾. Im Jahr 1832 wurde der außerordentliche Professor der Universität Breslau, Friedlieb Ferdinand Runge, per Vertrag mit der Chemischen Produktfabrik Oranienburg verpflichtet, für ein Monatsgehalt von 83 Thalern den Umsatz dieser Fabrik durch Einfälle und Ideen zu sichern und zu steigern. Der Vertrag zielte eindeutig auf die ökonomische Nutzbarmachung wissenschaftlicher Erkenntnisse ab.

Aus dieser anfänglichen Symbiose von schöpferischen Fähigkeiten und ökonomischem Bedarf resultierte eine zunehmende Institutionalisierung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, die schließlich in die heute in Unternehmen anzutreffende organisierte FE einmündete, deren Charakteristikum die wissenschaftlich fundierte und systematisch angelegte Arbeit von angestellten Forschern ist³⁾.

Dies besagt nicht, daß der Typus des Einzelerfinders gänzlich ausgestorben wäre bzw. seine Bemühungen vollkommen bedeutungslos wären⁴⁾. Charakteristisch und von größerem Gewicht ist jedoch der professionelle Forscher, beschäftigt in zweckgerichteten Forschungs- und Entwicklungslaboratorien⁵⁾. Der durch diese Entwicklungstendenzen bewirkte Umbruch führte in Verbindung mit der exponentiellen Zunahme naturwissenschaftlicher Erkenntnisse⁶⁾ zu einer "Evolu-

1) Vgl. Bund, Karlheinz: Die Parallelarbeit im Rahmen industrieller Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, Diss.Berlin 1962, S.6f.

2) Bredereck, H.: Rektorenrede 1959, Techn.Hochschule Stuttgart, zitiert bei: Steinhof, A.: Industrielle Forschung, in: Studium Generale, Jahrg.16, 1963, S.267.

3) Vgl. Dürrhammer, W.: Forschung und Entwicklung als Aufgabe der Unternehmensführung, Bericht über die Arbeitstagung der Schmalenbach-Gesellschaft, in: ZfB, 42.Jg., 1972, S.514.

4) Vgl. Bölkow, Ludwig: Finden und Durchführen von Großprojekten der Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.577.

5) Vgl. Freeman, Christopher: Measurement of Output of Research and Development, Statistical Reports and Studies, No.16, Review Paper, Unesco, Geneva 1969, S.7.

6) Vgl. Kortzfleisch, Gert von: Forschungen über die Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.561.

tionsepoche der Technik"¹⁾, in deren Verlauf nicht nur die Entwicklungsdauer technischer Erfindungen abnahm (vgl. dazu Abb.1), sondern auch der Übergangsprozeß von der Forschung zur ökonomischen Ausnutzung der Neuerungen in der Industrie stark verkürzt wurde.

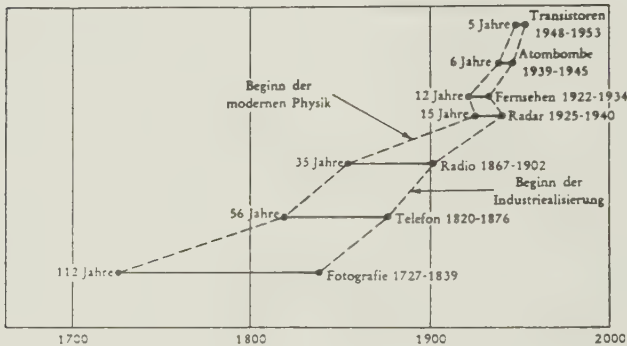


Abb.1: Entwicklungsdauer typischer technischer Erfindungen während der letzten dreihundert Jahre
Quelle: Chorafas, D.M., a.a.O., S.91²⁾

Die Schnelligkeit der produktionsgerechten Entwicklung und der Ausbreitung ihrer Ergebnisse in Form von neuen Produkten und Verfahren führt durch den ständigen Einsatz neuen Wissens zum beschleunigten Wandel des Umfeldes, in welches die Unternehmen eingebunden sind³⁾.

1) Chorafas, D.N.: a.a.O., S.91.

2) Zur Verkürzung der Zeitspanne zwischen Invention und Innovation während der letzten zweihundertfünfzig Jahre s. auch Tab.1 und Abb.1 bei: Mensch, Gerhard: Zur Dynamik des technischen Fortschritts, in: ZfB, 41.Jg., 1971, S.300f

3) Vgl. Brankamp, Klaus: Innovationspraxis: Neue Aufgaben für die Unternehmensberatung, in: Staudt, Erich (Hrsg.): Innovationsförderung und Technologietransfer, Berlin 1980, S.112.

Ein derart beschleunigter technologischer Wandel stellt für das Unternehmen Chancen und Risiken dar¹⁾. Für die möglichst vorteilhafte Nutzung der Chancen ist eine geeignete Technologiepolitik nötig, da gerade sie im Rahmen der unternehmerischen Zielsetzung ein bedeutendes Instrument sowohl zur Gestaltung des unternehmenspolitischen Umfeldes wie auch zur Anpassung an dessen Veränderungen ist²⁾.

Der ständige Einsatz neuen Wissens führt zur Verkürzung der Produktlebenszyklen und damit zur Notwendigkeit, vermehrt neue Güter mit neuen Qualitäten bzw. neue Produktionsverfahren herzustellen oder anzuwenden³⁾. Kontinuierlich anfallende Gewinne aufgrund einer einmal erreichten technologischen Spitzenstellung können vom einzelnen Unternehmen nicht erwartet werden. Ein gutes Beispiel für diese Entwicklung bietet die amerikanische Halbleiter-Industrie, in der einige erfolgreiche Firmen gewissermaßen aus dem Nichts zu Marktführern wurden, während andere, trotz anfänglicher Erfolge durch ihr Unvermögen, fortwährend wirtschaftlich erfolgreiche Produkte hervorzubringen, schrumpften oder ganz vom Markt verschwanden⁴⁾.

Verdeutlichen läßt sich die Kurzlebigkeit wirtschaftlicher Anfangserfolge anhand den Ergebnissen einer Studie über die US-Halbleiter-Industrie. Die dort für verschiedene Zeiträume aus der Vergangenheit ermittelten Wahrscheinlichkeiten, unter den größten Unternehmen dieses Industriezweiges zu überleben, zeigt Abb. 2. Beispielhaft betrachtet, beträgt diese für den Zeitraum von zehn Jahren von 1955 bis 1965 nur zwanzig Prozent, wenn nur die fünf größten Hersteller betrachtet werden. Unter den zehn größten Firmen liegt die gleiche Wahrscheinlichkeit bei sechzig Prozent.

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Technologischer Wandel und Unternehmenspolitik, in: ZfbF, 36.Jg., 1984, S.619.

2) Vgl. Brockhoff, Klaus: Controlling in Forschung und Entwicklung der Unternehmen, in ZfbF, 36.Jg., 1984, S.608.

3) Vgl. Staudt, Erich; Wilhelm Schmeisser; Berthold Schwarz: Der Betrieb als Objekt der Technologiepolitik, in: Staudt, Erich (Hrsg.) a.a.O., S.11.

4) Vgl. Levin, Richard, C.: The Semiconductor Industry, in: Nelson, Richard R. (Hrsg.): Government and Technical Progress, New York - Oxford - Toronto - Sydney - Paris - Frankfurt - 1983, S.32.

von/bis	1960	1965	1975	1980
1955	.6	.2	.2	.2
1960		.4	.2	.2
1965			.6	.6
1975				1.0
Überlebenswahrscheinlichkeit in der Gruppe der fünf größten US-Halbleiter-Hersteller				
von/bis	1960	1965	1975	1980
1955	.9	.6	.3	.3
1960		.7	.4	.4
1965			.5	.4
1975				.7
Überlebenswahrscheinlichkeit in der Gruppe der zehn größten US-Halbleiter-Hersteller				
Abb.2: Überlebenschancen in der US-Halbleiter-Industrie von 1955 bis 1980				
Quelle: Levin; Richard C., a.a.O., S.31.				

Auch Siemens weist auf einen ständig steigenden Anteil neuer Produkte am Umsatz hin, wobei 1984 im Bereich elektronischer Bauelemente schon knapp zwei Drittel und bei der medizinischen Technik fast drei Viertel der Erzeugnisse höchstens fünf Jahre alt waren¹⁾. In ähnlichem Sinne äußert sich Beckurts, der einen Gesamtanteil neuer Produkte an allen bei Siemens hergestellten Produkten von fünfzig Prozent nennt²⁾. Diese stürmische Entwicklung und die damit

1) Vgl. Geschäftsbericht der Siemens AG 1984, S.32.

2) Vgl. Beckurts, Karl Heinz: Forschungs- und Entwicklungsmanagement - Mittel zur Gestaltung der Innovation, in: Blohm, Hans und Günter Danert (Hrsg.): Forschungs- und Entwicklungsmanagement, Stuttgart 1983, S.17.

einhergehenden gravierenden Veränderungen lassen auch die Philips AG auf die Notwendigkeit ständig hoher Aufwendungen für die Forschung hinweisen¹⁾.

Auch an anderer Stelle ist die Notwendigkeit der verstärkten Forschungs- und Entwicklungsbemühungen erkannt worden. So bemerkt der Vorstandsvorsitzende eines großen deutschen Maschinenbaukonzerns:

"Da die Bundesrepublik im internationalen Wettbewerb keine Vorteile in Bezug auf Rohstoffkosten und klare Handikaps bei Energie- und Arbeitskosten hat, liegt unsere einzige Chance in einem hohen Niveau von Forschung und Entwicklung. Es gilt also, mit hohem Risiko und mit hohem Aufwand neue Produkte auf den Markt zu bringen, die ein besonders hohes Maß an technischem Wissen verkörpern."²⁾

Immer kürzer werdende Innovationszyklen³⁾ und die Tatsache, daß für eine Vorverlagerung des Standes technologischer Erkenntnisse hohe Aufwendungen zu treiben sind⁴⁾, machen FE in organisierter Form unumgänglich, soll der Anschluß an den technologischen Stand gehalten werden und die Basis für zukünftiges Unternehmenswachstum geschaffen werden.⁵⁾

Die mikroökonomische Bedeutung der industriellen FE wird weiterhin in einer Studie der Unternehmensberatungsgesellschaft Booz, Allen und Hamilton zum Problemkreis des Managements neuer Produkte deutlich. Im Rahmen dieser Arbeit untersuchte man auch den Zusammenhang von Unternehmenswachstum und FE-Aufwendungen. Dafür wurden für den Zeitraum von 1950 bis 1959 für ausgesuchte Industriezweige die auf

1) Vgl. Geschäftsbericht der N.V.Philips'Gloeilampenfabrieken 1983, S.40.

2) Lennings, Manfred: Kampf um knappes Kapital, in: Manager-Magazin, 1981, H.7, S.55.

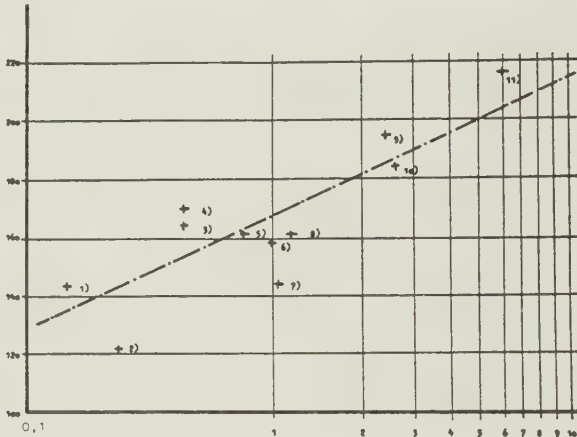
3) Vgl. Pfeiffer, Werner: Strategisch orientiertes Forschungs- und Entwicklungsmanagement - Probleme und Lösungsansätze aus der Sicht der Wissenschaft, in: Blohm, Hans und Günter Danert (Hrsg.), a.a.O., S.58.

4) Vgl. Roberts, E.B.: A Basic Study of Innovators: How to Keep and Capitalize on Their Talents, in: RM, Vol.11, 1968, S.249.

5) Zur Wirkung von Forschung und Entwicklung auf das Unternehmenswachstum s. Albach, Horst: Der Einfluß von Forschung und Entwicklung auf das Unternehmenswachstum, in: Liiketaloudellinen Aikakauskirja, Bd.13, 1965, S.111-140 und ders.: Forschung und Wachstum, in: Die Aussprache, Jg.15, 1965, S.154ff.

den Umsatz bezogenen Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen in Verbindung gebracht mit dem Wachstum ihrer jeweiligen Fertigungskapazitäten.¹⁾

Produktionskapazitätsindex
(1950 $\hat{=}$ 100 %)



FE-Aufwendungen
in Prozent vom
Umsatz

- Branchen:
- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1) Nahrungsmittel | 7) Öl |
| 2) Textil | 8) Metall-Halbzeug |
| 3) Papier | 9) Chemie |
| 4) Metall-Grundstoffe | 10) Maschinen |
| 5) Glas, Steine, Erden | 11) Elektro-Maschinen |
| 6) Kautschuk | |

Abb. 3: FE-Aufwendungen und Produktionskapazitätswachstum ausgewählter Industriezweige in den USA von 1950 bis 1959

Quelle: Booz, Allen, Hamilton Management Consultants, a.a.O., S.5.

1) Vgl. Booz, Allen, Hamilton - Management Consultats: Management of New Products, New York 1960, S.5.

Aus der Abbildung geht hervor, daß Industriezweige mit hohen FE-Aufwendungen im Berichtszeitraum auch hohe Wachstumsraten der Fertigungskapazität zu verzeichnen hatten. Ein Zusammenhang zwischen FE-Aufwand und Wachstum besteht demnach offenbar; über die Art dieses Zusammenhangs kann jedoch keine Aussage getroffen werden, da nicht eindeutig zu erkennen ist, ob FE hohes Wachstum bedingt oder hohes Wachstum nicht umgekehrt hohe FE-Ausgaben mit sich bringt.

FE als industrielle Tätigkeit, die den technologischen und letztendlich den technischen Fortschritt hervorbringt, ist eine unabdingbare Voraussetzung für Erhalt und Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit für das einzelne Unternehmen sowie, gesamtwirtschaftliche gesehen, auch für eine Volkswirtschaft. Effiziente FE hilft, wirtschaftlichen Strukturwandel durch Erhöhung der Anpassungsfähigkeit leichter zu überstehen, Engpässe in der Güterversorgung zu überwinden und Ressourcen optimal zu nutzen.¹⁾

Die Bedeutung der industriellen FE in der Bundesrepublik läßt sich auch an einigen empirischen Daten ablesen (s.Tab. 1). So weist der Verlauf der FE-Aufwendungen ein stetiges und das Bruttosozialprodukt (BSP) überragendes Wachstum auf.

Betrug der kumulierte Zuwachs des BSP (gerechnet in jeweiligen Preisen) in den Jahren 1970 bis 1983 rd. 247 Prozent, wuchsen im gleichen Zeitraum die Ausgaben für industrielle FE kumuliert um rd. 349 Prozent. Entsprechend dem stärkeren Wachstum der FE-Aufwendungen erhöhte sich deren prozentualer Anteil am BSP von 0,68 Prozent in 1962 auf 1,9 Prozent in 1983.

1) Vgl. Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.): Bundesbericht Forschung VI, Bonn 1979, S.8.

1	2	3	4	5
Jahr	Bruttosozial- produkt in je- weiligen Prei- sen, Mrd. DM	FE-Ausgaben in Wirtschaft, Mio. DM	Gesamtzahl aller Erwerbs- tätigen (Jah- resdurch- schnitt) in 1000	Beschäftigte im FE-Bereich der Wirt- schaft
1962	360,5	2.450		
1963	382,1	3.030		
1964	419,6	3.800		
1965	458,2	4.570		
1966	487,4	5.100		
1965	493,7	5.650		
1968	533,7	6.300		
1969	597,8	7.320		
1970	675,7	9.000	26.668	183.000
1971	751,8	10.700	26.817	199.249
1972	825,1	11.400	26.655	194.000
1973	918,9	12.020	26.922	188.555
1974	985,6	13.240	26.215	187.000
1975	1.028,3	14,930	25.810	186.252
1976	1.123	15.690	25.591	-
1977	1.196,3	17.549	25.547	197.800
1978	1.290	19.266	25.699	-
1979	1.395,3	19.575	26.039	237.962
1980	1.485,7	21.670*	26.302	-
1981	1.543,7	27.843	26.101	242.544
1982	1.598,9	29.220	25.632	244.000
1983	1.671,2	31.400	25.187	-
* ab 1981 Erweiterung des Berichtskreises um kleine und mittlere Unternehmen				
Quellen: Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.): Bundesbericht Forschung VI, a.a.O., S.430; Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch 1984 für die Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart und Mainz 1984, S.379 u.527; Referat Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft (Hrsg.): Leistung in Zahlen '83, Minden 1983, S.11 u.107; Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.): Forschung u.Entwicklung in der Wirtschaft 1977, Arbeitsschrift A, 1980, S.44.				

Tab.1: Daten zur industriellen FE in der Bundesrepublik

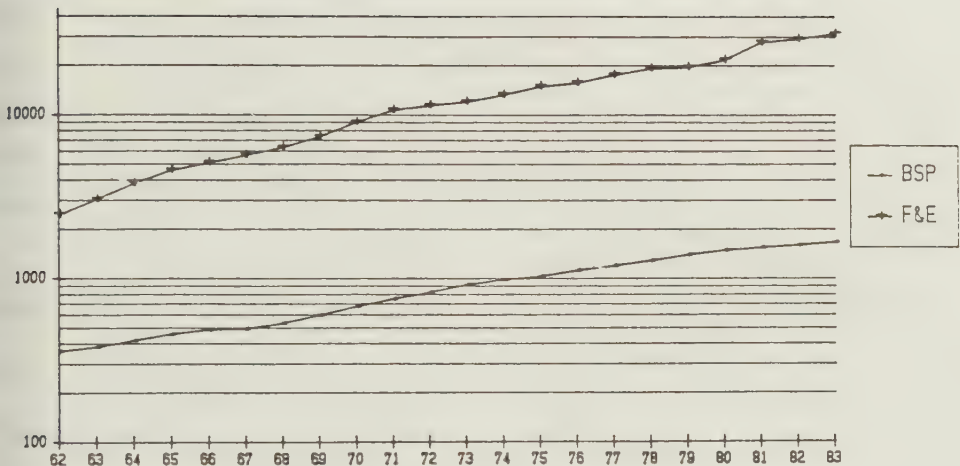


Abb. 4: BSP (in jeweiligen Preisen) und FE-Aufwendungen in der Wirtschaft von 1962 bis 1983. BSP in Mrd., FE in Mio (logarithmischer Maßstab).

Für den Zeitraum von 1970 bis 1983 errechnen sich, immer auf Basis 1970 bezogen, durchschnittliche Wachstumsraten für das BSP von 17,7 Prozent und für die industriellen FE-Aufwendungen von 24,9 Prozent. Die Ausgaben für industrielle FE sind folglich wesentlich stärker gewachsen als das BSP; ein Zeichen dafür, welche Bedeutung die Industrie der FE als Instrument zur Sicherung und Expansion der Unternehmenstätigkeit beimißt.

In dieses Bild passen auch die Daten zur Entwicklung der Gesamtzahl der Beschäftigten und der im Bereich der industriellen Forschung und Entwicklung Tätigen.

Unterlag in den Jahren 1970 bis 1983 die Gesamtzahl aller erwerbstätigen Personen nur relativ kleinen Schwankungen, erhöhte sich die Zahl der in der Wirtschaft im FE-Bereich Beschäftigten dermaßen, daß dort 1983 gut ein Drittel mehr Erwerbstätige beschäftigt waren als 1970. Der Anteil der in der industriellen FE Tätigen an der Gesamtzahl aller

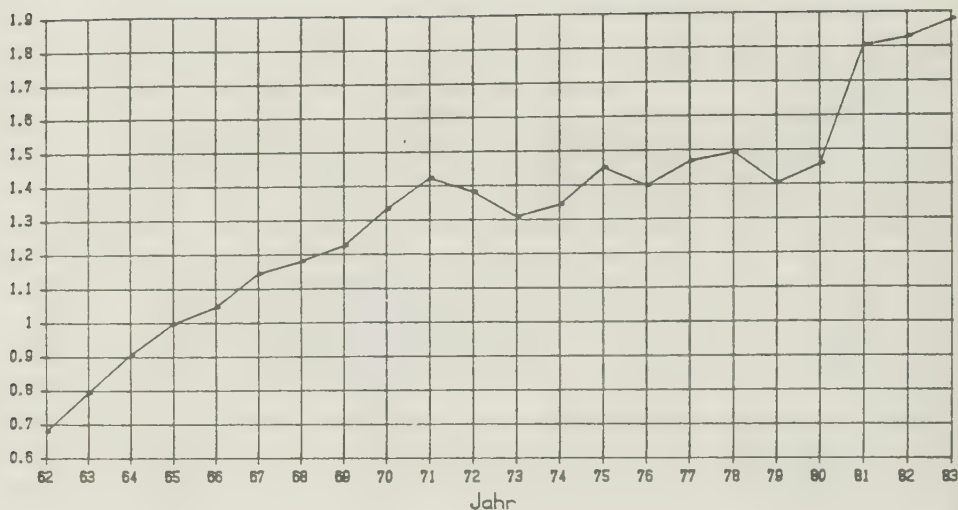


Abb.5: Anteil der FE-Ausgaben in der Wirtschaft am BSP
(in jeweiligen Preisen) von 1962 bis 1983 (in Prozent)

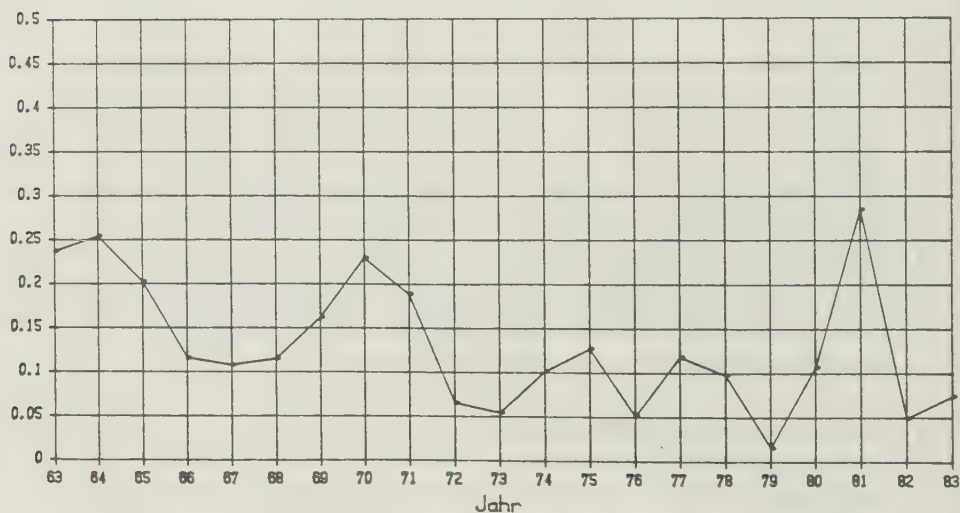


Abb. 6: Wachstumsraten der FE-Ausgaben in der Wirtschaft
(jeweils auf Vorjahresbasis) von 1963 bis 1983

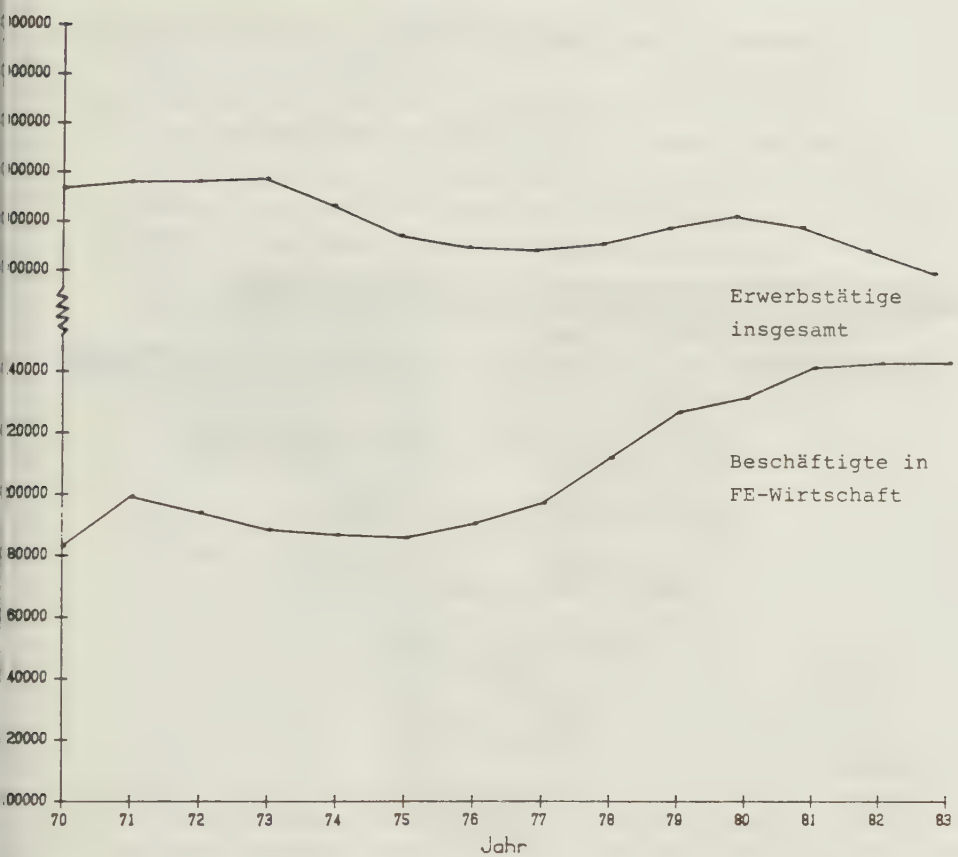


Abb. 7: Gesamtzahl aller Erwerbstätigen und Beschäftigte in der industriellen FE von 1970 bis 1983

Erwerbstätigen stieg in diesem Zeitraum von 7 auf 9,7 Promille.

Selbst wenn man den von 1962 bis 1978 von 14 auf 19 Prozent gestiegenen Finanzierungsanteil des Staates an den gesamten FE-Aufwendungen der Wirtschaft herausrechnet, bleibt eine die Wachstumsrate des Bruttosozialproduktes übersteigende Zunahme der von der privaten Wirtschaft finanzierten FE-Tätigkeit - ein weiteres Indiz für die ständige steigende

Bedeutung der FE, in deren Folge auch die Forschungskapazität wächst.

Dabei sind die Aufwendungen in den einzelnen Industriebranchen für die industrielle FE recht unterschiedlich.

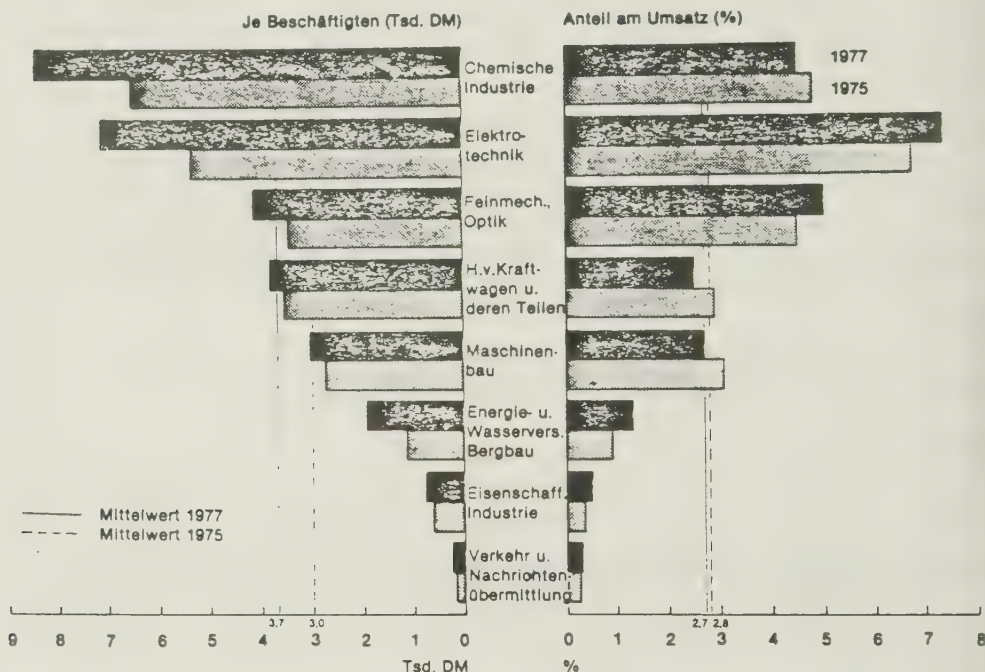


Abb. 8: Relative FE-Aufwendungen in ausgewählten Wirtschaftszweigen 1975 und 1977

Quelle: Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft, a.a.O., S.76.

Ein Vergleich der einzelnen FE-Aufwendungen mit dem Gesamtumsatz gibt zwar keine Auskunft über die Produktivität der industriellen FE in den einzelnen Branchen, trotzdem zeigt sich, daß gerade die forschungsintensiven Industrien, wie Elektrotechnik und Chemie, auch die höchsten Wachstumsraten zu verzeichnen haben.

1 2 2 Begriff und Wesen industrieller Forschung und Entwicklung

1 2 2.1 Begriffsbestimmung von Forschung und Entwicklung

Die Einbindung eines Unternehmens in eine sich ständig verändernde Umwelt, insbesondere gekennzeichnet durch sich wandelnde Marktsituationen, bedingt als notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Unternehmenspolitik die fortwährende Bereitstellung neuer Problemlösungspotentiale¹⁾.

Diese Aufgabe hat die industrielle FE als planmäßige und systematisch angelegte Tätigkeit²⁾, die darauf gerichtet ist, den Wissensstand zu erhöhen bzw. neue Anwendungsmöglichkeiten schon vorhandenen oder neuen Wissens zu finden³⁾.

Neues Wissen kann zum einen aus rein zufälliger Entdeckung, zum anderen aber auch aus systematisch angelegter und nach wissenschaftlichen Methoden durchgeführter FE resultieren⁴⁾. Nur letzteres kann Gegenstand weiterer Bemühungen von Forschungen über die FE sein, denn zielloses Experimentieren beinhaltet keine bestimmten Vorstellungen bezüglich eines anzustrebenden Ergebnisses. Auch fehlt in diesem Fall die gedankliche Vorwegnahme des Vorgehens. Das Etikett der Planlosigkeit der Forschungstätigkeit führt aber nicht zur völligen Negation der zufälligen Ergebnisse dieser Aktivitäten. Auch die Verwertung der auf Zufall beruhenden Er-

-
- 1) Vgl. Pfeiffer, Werner und Erich Staudt: Forschung und Entwicklung, betriebliche, in: HWB, Sp.1521.
 - 2) Vgl. Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.): Die Messung wissenschaftlicher und technischer Tätigkeiten, Frascati-Handbuch 1980, Bonn 1982, S.29.
 - 3) Vgl. Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, a.a.O., S.555; Fischer Thomas: Inventionsprozesse und Unternehmensentwicklung, Freiburg i.B. 1982, S.18; Kern Werner und Hans-Horst Schröder: Forschung und Entwicklung in der Unternehmung, Reinbek 1977, S.15; Chorafas, D.N., a.a.O., S.19, Mellerowicz, Konrad: Forschungs- und Entwicklungstätigkeit als betriebswirtschaftliches Problem, Freiburg 1958, S.10.
 - 4) Vgl. Bruggemann, Max: Betriebswirtschaftliche Probleme der industriellen Forschung, Winterthur 1957, S.1; Schückher, Hertha und Franz Schückher: Forschung in der Industrie, in: JO, 33.Jg., 1964, S.155; Kowalski, Ulrich, Der Schutz von betrieblichen Forschungs- und Entwicklungsergebnissen, Thun-Frankfurt/Main 1980, S.24.

kenntnisse kann erfolgssteigernd wirken. Daher müssen sie genau wie die Ergebnisse organisierten Forschens Gegenstand betriebswirtschaftlicher Überlegungen sein¹⁾. Von der Forschungsforschung ausgeschlossen bleibt in derartigen Fällen lediglich der Prozeß zur Erlangung dieser Ergebnisse.

FE wird nicht nur in Unternehmen, sondern auch an Universitäten und anderen staatlichen oder privaten Institutionen betrieben. Während FE in den Unternehmen betrieben wird, um in ausreichendem Umfang ökonomisch verwertbares Wissen hervorzubringen²⁾, ist Ziel der FE z.B. an Universitäten im allgemeinen eine möglichst umfassende Erkenntnisgewinnung an sich³⁾. Unsere Untersuchungen beziehen sich hauptsächlich auf die erfolgsorientierte FE in Unternehmen. Auf andere FE-Bereiche übertragen werden können die Untersuchungsergebnisse nur dort, wo das Kriterium der FE-Institution unerheblich ist.

Im weiteren Sinne umfaßt industrielle FE alle systematisch angelegten Tätigkeiten zur Erweiterung des Wissensstandes; subsumieren lassen sich diesem Oberbegriff folglich auch die innerhalb von Unternehmen betriebene Organisations- oder Marktforschung⁴⁾.

Industrielle FE im engeren Sinne beinhaltet nur die Tätigkeiten zur Gewinnung des für das jeweilige Unternehmen neuen technisch-naturwissenschaftlichen Wissens⁵⁾.

1) Vgl. Strebel, Heinz: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmungen, a.a.O., S.34.

2) Vgl. Steimel, Karl: Der Standort der Industrieforschung in Forschung und Technik, in: Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 122, 1963, S.11.

3) Vgl. Paßmann, Bodo: Das Leitungssystem des Forschungs- und Entwicklungsbereiches industrieller Unternehmungen, Diss. Köln 1969, S.11ff.

4) Vgl. Bruggmann, Max, a.a.O., S.4f.

5) Vgl. Brockhoff, Klaus: Forschung und Entwicklung, Planung und Organisation von, in: HWB, Sp.1531; ders.: Forschungsprojekte und Forschungsprogramme. Ihre Bewertung und Auswahl, Wiesbaden 1973, S.23; Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, Köln und Opladen 1965, S.10; Strebel, Heinz: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmungen, a.a.O., S.32; Geschka, H.: Forschung und Entwicklung als Gegenstand betrieblicher Entscheidungen, Meisenheim am Glan 1970, S.39.

Die Neuheit des Wissens wird gemäß dieser Definition auf den Erkenntnisstand der FE-betreibenden Organisation bezogen. Zuwachs von Kenntnissen wird als solcher auch akzeptiert, wenn das neue Wissen an anderer Stelle schon vorhanden war, aber für das betrachtete Unternehmen nicht zur Verfügung gestanden hat¹⁾. Basierend auf den oben beschriebenen Merkmalen wird der Prozeß der Gewinnung neuen Wissens gemäß dem "klassischen"²⁾ Gliederungsschema in Grundlagenforschung, angewandte Forschung und Entwicklung aufgeteilt³⁾. Idealtypischerweise läuft dieser Vorgang in zeitlich gestaffelter Weise derart ab, daß die nachfolgende Stufe jeweils auf den Erkenntnissen der vorhergehenden Stufe aufbaut, wobei gemäß dem Prinzip der abnehmenden Abstraktion wirtschaftliche Überlegungen zunehmend an Bedeutung gewinnen⁴⁾.

1) Vgl. Oberender, Peter: Industrielle Forschung und Entwicklung - Eine theoretische und empirische Analyse bei oligopolistischen Marktprozessen, Bern 1973, S.43; Machlup, Fritz: The Production and Distribution of Knowledge in the United States, Princeton, N.J. 1962, S.7; Mellerowicz, Konrad: Forschungs- und Entwicklungstätigkeit als betriebswirtschaftliches Problem, a.a.O., S.10.

2) Vgl. Brockhoff, Klaus: Forschungsprojekte und Forschungsprogramme. Ihre Bewertung und Auswahl, a.a.O., S.23.

3) Dieses Schema wird auch als Basis statistischer Erhebungen verwendet, s. Stiferverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.), a.a.O., S.7; Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.): Die Messung wissenschaftlicher und technischer Tätigkeiten, a.a.O., S.29; National Science Foundation (Hrsg.): Funds for Research and Development in Industry 1959, NSF 62-3, Washington 1962, S. VIII.

Andere Gliederungsmöglichkeiten zeigen: Schröder, Hans Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.28 und Weber, Paul Günter: Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft der Bundesrepublik Deutschland und ihre staatliche Förderung. Diss.Berlin 1978, S.41. Eine Aufstellung von Gliederungskriterien zeigt auch Neuling, Christian: Die Innovation als Investition - Datenbeschaffung und Datengenauigkeit in Forschung und Entwicklung, Diss. Berlin 1972, S.18f.

4) Vgl. Böning, Dieter Jobst: Bestimmungsfaktoren der Intensität industrieller Forschung und Entwicklung, Diss.Göttingen 1969, S.7 u.17.

Kritik erfährt diese Dreiteilung durch die Unmöglichkeit der klaren Abgrenzung der drei Stufen voneinander¹⁾, wobei vielerorts nicht einmal eine exakte Trennung zwischen Entwicklung und Herstellungsprozeß möglich ist²⁾. Alle drei Stufen können in der Praxis nicht losgelöst voneinander gesehen werden, da sich die Aufgabengebiete der drei Stufen z.T. überlagern und gegenseitig beeinflussen. Der Prozeß der FE-Tätigkeit muß auch nicht zwangsläufig alle Stufen hintereinander durchlaufen, vielmehr ist es durchaus denkbar, daß bei konkreten FE-Projekten einzelne Stufen übersprungen bzw. mehrfach in Anspruch genommen werden. Trotz dieser Abgrenzungsprobleme wird auf eine isolierte Betrachtung nicht verzichtet, da jede der einzelnen Stufen spezifische, ihr eigene Probleme aufweist.

1 2 2.2 Stufen industrieller Forschung und Entwicklung

1 2 2.2 1 Grundlagenforschung

Beschäftigungsfeld der Grundlagenforschung ist das Auffinden neuer Theorien "allgemeiner Art"³⁾ und ihre Erklärung in Form von naturwissenschaftlichen Ursache-Wirkungszusammenhängen⁴⁾. Ein Biologe zum Beispiel, der untersucht, warum und wie sich bestimmte Zellen fortpflanzen, ohne dabei eine konkrete Anwendungsmöglichkeit seiner Ergebnisse vor Auge zu haben, betreibt Grundlagenforschung.⁵⁾

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Forschungsprojekte und Forschungsprogramme: Ihre Bewertung und Auswahl, a.a.O., S.23f.

2) Vgl. Plettner, Bernhard: Die Bewältigung des technischen Fortschritts in der Industrie, in: ZfbF, Sonderheft 11, 32.Jg., 1980, S.21.

3) Machlup, Fritz: Die Produktivität der naturwissenschaftlichen und technischen Forschung und Entwicklung, in: Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, a.a.O., S.39.

4) Vgl. Agbodan, Michel: Forschungsgesinnung und Forschungspolitik, in: ZfbF, 42.Jg., 1972, S.133.

5) Vgl. Mansfield, Edwin: Technological Change, New York 1971, S.42.

Derartige Forschung ist "Science for Science Sake"¹⁾, ohne daß ein klar strukturiertes Problem vorgegeben wäre, an dessen Lösung ein Unternehmen besonderes Interesse hätte. Dementsprechend definiert Schätzle Grundlagenforschung als eine "allgemeine Forschungstätigkeit zur Gewinnung technologischer Erkenntnisse ohne exakte Zielbindung an bestimmte Anwendungen."²⁾

Eine konkrete Anwendung der Ergebnisse von Grundlagenforschung kann zwar später erfolgen, zum Zeitpunkt der Aufgabenstellung ist aber eine solche Verwertbarkeit nicht abzu- sehen und kann daher auch nicht als Vorgabe in konkreten Zielen definiert werden.

Folgerichtig wird der Nutzen der Grundlagenforschung darin gesehen, daß die neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse die späteren Arbeiten im Bereich der angewandten Forschung und Entwicklung erleichtern³⁾.

Zusätzlich zur Vorbereitung und Vertiefung der Wissensbasis für angewandte Forschung und Entwicklung werden durch die bei der Grundlagenforschung erworbene Erfahrung auch die Fähigkeiten der damit beschäftigten Forscher erhöht. Dies schafft die Voraussetzungen dafür, daß ein Unternehmen ständig über den neuesten Stand des Wissens informiert ist und sich neuen Gegebenheiten rechtzeitig anpassen kann⁴⁾. Zudem erlaubt eine breite technologische Basis die effiziente Nutzung der Grundlagenforschung durch entsprechend viele Anwendungsmöglichkeiten ihrer Ergebnisse⁵⁾.

Industrielle Grundlagenforschung, welche zumindest insofern gelenkt sein kann, daß vorrangig auf Gebieten geforscht

-
- 1) Heberlein, Georg: Schweizerische Wissenschaftspolitik und industrielle Unternehmung, in: Siegart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.17.
 - 2) Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.25.
 - 3) Vgl. ebenda, S.25.
 - 4) Vgl. Berthold, Klaus: Die Grundlagenforschung industrieller Großunternehmen in der Bundesrepublik Deutschland, Berlin 1969, S.158f.
 - 5) Vgl. Nelson, Richard R.: Einfache ökonomische Aspekte der wissenschaftlichen Grundlagenforschung, in: Naumann, Jens (Hrsg.): Forschungsökonomie und Forschungspolitik, Stuttgart 1970, S.107.

wird, an denen das Unternehmen prinzipiell aufgrund seiner Tätigkeitsfelder Interesse hat, kann von der Angewandten Forschung durch die Merkmale der fehlenden oder nur vagen Zielsetzung bezüglich der praktischen Verwertbarkeit der Ergebnisse und der Fristigkeit der Projekte abgegrenzt werden¹⁾.

Nelson verweist auf die erheblichen externen Vorteile erfolgreicher Grundlagenforschung, da deren Verwertung oft in vielen Bereichen möglich ist. Gesellschaftlich erwünscht wäre daher eine Steigerung auch privater Grundlagenforschung. Die vom Stifterverband der Deutschen Wissenschaft für 1977 ermittelten Daten weisen jedoch einen gegensätzlichen Trend auf. Bei den Unternehmen war 1971 mit einem Anteil von 5,7 Prozent der internen FE-Ausgaben der Höhepunkt der Ausgaben für Grundlagenforschung erreicht. Daran schloß sich ein Rückgang des absoluten Betrages auf rd. 501 Millionen im Jahr 1977 an, was einem relativen Anteil an allen FE-Ausgaben im Unternehmenssektor von 3,1 Prozent gleichkommt²⁾.

1 2 2.2 2 Angewandte Forschung

Angewandte Forschung kann einem genau bestimmbar wirtschaflichen Ziel zugerechnet werden. Sie ist demgemäß zielgebundene Forschungstätigkeit für wirtschaftliche Anwendungszwecke³⁾ und kann zum einen darauf gerichtet sein, kommerziell verwertbare Anwendungsmöglichkeiten für die Ergebnisse der Grundlagenforschung zu finden. Zum anderen sollen in ihrem Rahmen auch neue Wege und Methoden zur Erreichung technisch-ökonomischer Zielsetzungen erarbeitet werden⁴⁾. Die in diesem Bereich durchgeführten Tätigkeiten sollen zu Erkenntnissen führen, welche die Hervorbringung

1) Vgl. Hinterhuber, Hans H.: Innovationsdynamik und Unternehmensführung, Wien - New York 1975, S.6f.

2) Vgl. Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.), a.a.O., S.17.

3) Schanz, Günther: Forschung und Entwicklung in der Elektrotechnischen Industrie der Bundesrepublik Deutschland, Diss.Mannheim 1972, S.25.

4) Vgl. Hinterhuber, Hans H., a.a.O., S.8.

neuer bzw. verbesserter Produkte oder Verfahren erlauben. Angewandte Forschung bildet insofern eine Brücke zwischen Theorie und Praxis¹⁾. Die Einbindung dieser FE-Stufe in konkrete Zielvorstellungen der Unternehmensplanung macht i.d.R. eine im Gegensatz zur Grundlagenforschung zumindest mittelfristige Problemlösung erforderlich²⁾. Dies wird alleine schon aus dem Ziel der praktischen Anwendbarkeit deutlich³⁾. Angewandte Forschung erweitert den technologischen Wissenstand auf dem Gebiet der entwicklungsfähigen Technik bzw. der anwendungsfähigen Technologie. Sie dient später der Entwicklung vermarktungsfähiger Produkte und Verfahren und ist aus diesen Eigenschaften heraus eine "Domäne des Industriebetriebes"⁴⁾, da hier technisches Problemlösungspotential und ökonomische Zielsetzung verknüpft werden. Ergebnisse der angewandten Forschung bestehen oft in patentfähigen Erfindungen⁵⁾. Sind die Ergebnisse der Grundlagenforschung als rein wissenschaftliche Erkenntnisse nicht patentfähig⁶⁾, so können diese, wenn überhaupt, nur durch Geheimhaltung geschützt werden. Im Gegensatz dazu kann an den Ergebnissen der angewandten Forschung häufig ein Rechtstitel insofern erworben werden, als diese durch Patente bzw. Gebrauchsmusterschutz vor Nachahmung geschützt werden können⁷⁾

1) Vgl. Agbodan, Michel, a.a.O., S.134.

2) Vgl. Böning, Dieter Jobst, a.a.O., S.12.

3) Vgl. Kern, Werner: Industriebetriebslehre, 2.Aufl., Stuttgart 1974

4) Weber, Paul-Günter, a.a.O., S.37.

5) Vgl. Latz, Hans.: Forschung und Entwicklung, Unternehmensgröße und Technischer Fortschritt in der Eisen- und Stahlindustrie - eine empirische Untersuchung, Diss. Saarbrücken 1971, S.5.

6) Vgl. Wiess, Ulrich (Hrsg.): Das Patentgesetz, 6.Aufl., Köln - Berlin - Bozen - München 1973, S.8f.

7) Vgl. Kowalski, Ulrich, a.a.O., S.27.

1 2 2.2 3 Entwicklung

Entwicklung ist "Reduction of research findings to practice"¹⁾. Ohne die Umsetzung der in Grundlagenforschung und angewandter Forschung gewonnenen Erkenntnisse in die Neu- und Weiterentwicklung von Produkten oder Verfahren in der Entwicklungsphase wäre Forschung reiner Selbstzweck²⁾.

Beinhalten Grundlagenforschung und angewandte Forschung vorwiegend Tätigkeiten zur Lösung wissenschaftlicher Probleme, so wird im Bereich der Entwicklung versucht, die Ergebnisse aus den vorhergehenden FE-Stufen auf produktions- und absatzwirtschaftliche Verhältnisse abzustimmen³⁾. Es erfolgt also ein Zuschnitt der wissenschaftlich-technischen Vorarbeiten auf die Voraussetzungen für die ökonomische Verwendung entweder im eigenen Unternehmen oder am Markt⁴⁾. Die Definition Schanz', derzufolge Entwicklung "technische Aktivitäten ohne Routinecharakter..."⁵⁾ umfaßt, soll hier nicht in ihrer ursprünglichen Form übernommen werden, da in der Entwicklungsphase durchaus Routinetätigkeiten auftreten können. Als Beispiel sei auf die im Rahmen der technischen Konstruktion häufig anzutreffende Rückkopplung der Produktionsabteilung mit der Entwicklungsabteilung hingewiesen, um durch leichte Modifikationen Produkte oder Verfahren auf die spezifischen Belange des produktionswirtschaftlichen Umfeldes einzustimmen. Diese routinemäßig ablaufenden nur geringfügigen Modifikationen machen nicht selten den Hauptanteil der Entwicklungsaktivität aus⁶⁾.

Das Spektrum industrieller Entwicklungsarbeit reicht von

-
- 1) Mansfield, Edwin,: Technological Change, a.a.O., S.43.
 - 2) Vgl. Zenz, Philipp: Die betriebswirtschaftliche Beurteilung von Forschungs- und Entwicklungsleistungen im Industriebetrieb, Thun - Frankfurt a.M. 1981, S.7.
 - 3) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.36.
 - 4) Vgl. Pfeiffer, Werner und Erich Staudt: Forschung und Entwicklung, betriebliche, a.a.O., Sp.1522.
 - 5) Schanz, Günther: Forschung und Entwicklung in der Elektrotechnischen Industrie der Bundesrepublik Deutschland, a.a.O., S.25.
 - 6) Vgl. Mansfield, Edwin: Technological Change, a.a.O., S.43.

Konstruktion, Modellbau, Musterfertigung bis zur Schaffung von Nullserien, Prototypen und Pilotprojekten¹⁾.

Nicht unter den Begriff der Entwicklung fallen Tätigkeiten im Rahmen der Qualitätskontrolle und Materialprüfung. Deren Aufgabe ist die Überwachung des Produktionsprozesses sowie die ständige Prüfung der Qualität der hergestellten Produkte²⁾.

Der Stifterverband der Deutschen Wirtschaft definiert Entwicklung als "Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse, um zu neuen oder wesentlich verbesserten Materialien, Geräten, Produkten, Verfahren, Systemen oder Dienstleistungen zu gelangen."³⁾ Dementsprechend findet sich die Aufteilung in Weiterentwicklung, verstanden als kontinuierliche Entwicklungsbetreuung schon bestehender Produkte, und Neuentwicklung, deren Ausfluß Produkte sind, die im jeweiligen Unternehmen noch nicht gefertigt worden sind und sich von existierenden Produkten wesentlich unterscheiden.⁴⁾

1 2 2.3 Formen industrieller Forschung und Entwicklung

1 2 2.3 1 Unternehmenseigene Forschung und Entwicklung

Werden fortlaufend aufgrund von Branche, Größe, Produktionsprogramm oder Marktbedingungen FE-Leistungen notwendig, empfiehlt sich die unternehmensinterne Durchführung der FE in eigenen Forschungsanstalten und Laboratorien. Als Voraussetzung für die Einrichtung solcher Forschungsabteilungen müssen die notwendigen Ressourcen für eine eigene wettbewerbsfähige FE-Abteilung aufgebracht werden⁵⁾. Damit geht jedoch das Unternehmen ein erhebliches Risiko ein, da

1) Vgl. Perlmann, Jacob: Measurements of Scientific Research and Development and Related Activities, in: Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, New York - London 1963, S.46.

2) Vgl. Latz, Hans, a.a.O., S.5.

3) Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.), a.a.O., S.19.

4) Vgl. ebenda, S.98.

5) Vgl. Thom, Norbert: Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagements, 2.Aufl., Königstein/Ts. 1980, S.491.

die autonom durchgeführten Forschungsprojekte auch selbst finanziert werden müssen und der Aufbau eigener FE-Kapazitäten mit hohen Fixkosten, z.B. für die Anschaffung geeigneter Apparaturen und Einstellung von qualifiziertem Personal, verbunden ist¹⁾. Allgemeingültige Aussagen bezüglich der Vorteilhaftigkeit von eigen- oder fremdbetriebener FE in bezug auf Kosten- und Ertragsgesichtspunkte sind jedoch nicht möglich, da zum einen Zahlenvergleiche einzelner Projekte wegen nicht voraussehbarer Ergebnisse und deren Verwertungsmöglichkeiten undurchführbar sind und andererseits Auslastungsgrad und Erfolgsträchtigkeit der Abteilung auf lange Sicht nicht vorbestimmt sind. Industrielle Vertragsgestaltungsmöglichkeiten bei Fremdforschung können jedoch zumindest die Überwälzung eines Teils des Forschungsrisikos auf die FE treibende Institution erlauben.

Vorteilhaft ist die eigene FE zumindest in dem Sinne, daß eine größtmögliche Geheimhaltung der Ergebnisse gegenüber Außenstehenden gewährleistet werden kann, wenn von Betriebsspionage abgesehen wird²⁾. Zudem erlaubt die eigene FE eine enge Zusammenarbeit mit anderen Funktionsbereichen des Unternehmens und damit eine Verzahnung der FE-Tätigkeit mit den Belangen anderer Abteilungen³⁾. Besonders im Bereich der Entwicklung, wo auf die spezifischen produktionstechnischen und absatzwirtschaftlichen Gegebenheiten des jeweiligen Unternehmens Rücksicht genommen werden muß, ist eine unternehmensextern durchgeführte FE im Nachteil. Weiterhin können bei Eigenforschung etwaig anfallende Nebenprodukte sofort unternehmensintern verwertet werden.

Auch entsteht im Laufe der Zeit bei den in der FE Tätigen alleine durch die ständige Beschäftigung mit bestimmten Problemen ein erhöhtes Wissenspotential, welches schließlich zu einer wünschenswerten Verbreiterung der Humankapi-

1) Vgl. Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, a.a.O., S.562; Böning, Dieter Jobst, a.a.O., S.25.

2) Vgl. Böning, Dieter Jobst, a.a.O., S.21.

3) Vgl. Dornis, Peter: Die Bewertung von Projekten der Forschung und Entwicklung, in: BFuP, 21.Jg., 1969, S.281.

talbasis führt¹⁾. Dies wiederum ist eine wichtige Voraussetzung, um den Anschluß an den sich ständig wandelnden technischen Fortschritt nicht zu verlieren.²⁾

Nachteilig kann sich eine aufgrund der Eigenforschung verminderte Kommunikationstätigkeit mit externen Forschungsinstituten auswirken, da für erfolgreiche FE zum einen interdisziplinäre Kontakte, zum anderen eine effiziente Verbindung von Wissenschaft und Unternehmenstechnologie anzustreben ist³⁾.

1 2 2.3 2 Vertrags- und Auftragsforschung

Die Lösung von FE-Problemen kann von Unternehmen auch als Auftrag an Dritte, z.B. Forschungsinstitute oder Universitäten, vergeben werden. Dies empfiehlt sich, wenn zur Lösung meist einmaliger FE-Aufgaben die eigenen Kapazitäten in qualitativer und/oder quantitativer nicht ausreichen und ein Ausbau der FE-Abteilung nicht ratsam erscheint⁴⁾.

Da bei der Vertragsforschung eine permanente Einflußnahme auf das Forschungsvorgehen im Interesse einer unternehmensspezifischen Ausrichtung nicht möglich ist, empfiehlt sich zumindest eine rege Interaktion zwischen Unternehmen und vertragsforschendem Institut. Der Nachteil mangelnder Berücksichtigung unternehmensspezifischer Gegebenheiten kann aber gelegentlich dadurch ausgeglichen werden, daß gerade durch das Freisein von Restriktionen neue, kreative Stimuli von außen eingebracht werden, welche dann im Unternehmen völlig neue Sichtweisen eröffnen können.

Im Gegensatz zur eigenen FE gewinnt bei dieser Form der Forschung ein Großteil der FE-Kosten variablen Charakter.

-
- 1) Vgl. Freeman, Raoul, J.: The Basic Resources of Research, in: RM, Vol.3, 1960, S.14.
 - 2) Vgl. Weber, Paul Günter, a.a.O., S.44f; Bölkow, Ludwig: Forschung, Entwicklung und Wachstumsstrategie, in: Wirtschaftlichkeit, Jg.II, 1968, S.116.
 - 3) Vgl. Blake, Stewart B.: Forschung, Entwicklung und Management, München 1969, S.94.
 - 4) Vgl. Schwetlik, Wolfgang: Forschung und Entwicklung in industriellen Organisationen, Diss.Mannheim 1972, S.37; Pfeiffer, Robert: Möglichkeiten und Grenzen der Auftragsforschung, in: Siegwart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.90.

Gegenüber den Vorteilen der Vertrags- und Auftragsforschung wird als Nachteil vorgebracht, daß z.B. öffentliche Forschungsstätten nicht genug Verständnis für die in der Industrie notwendigen "Standards" haben. Zudem wird mangelnde Geheimhaltung seitens der externen Forschungsinstitutionen beklagt.¹⁾

Die Möglichkeiten der Vertragsforschung werden in der Praxis nur in geringem Umfang genutzt. 1977 gaben die Unternehmen nur 4,1 Prozent ihrer gesamten FE-Aufwendungen dafür aus.²⁾

1 2 2.3 3 Gemeinschaftsforschung

Gemeinschaftsforschung wird von zwei oder mehr in einem Forschungsverbund zusammengeschlossenen Unternehmen betrieben oder zumindest finanziert, um ein gemeinsames FE-Ziel zu erreichen³⁾, wobei die Unternehmen der gleichen oder verschiedenen Branchen angehören können⁴⁾.

Gemeinschaftsforschung wird empfohlen, wenn die Forschungsaufgaben keinen unmittelbaren unternehmensspezifischen Bezug haben, die ökonomische Nutzbarmachung der Forschungsergebnisse aber dennoch angestrebt wird. Da verschiedene Unternehmen, u.U. aus verschiedenen Branchen und mit unterschiedlichen Produktionsprogrammen, an einer Gemeinschaftsforschung beteiligt sein können, müssen zunächst die Forschungsaufgaben auf einen Nenner gebracht werden⁵⁾, später aber die Ergebnisse wieder auf die unternehmensindividuel-

1) Vgl. Alter, U.; Geschka, H.; Schwerdtner, H.G.: Effiziente Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in industrielle Nutzung, in: Rationalisierung, 25.Jg., 1974, S.88.

2) Vgl. Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.), a.a.O., S.16.

3) Vgl. ebenda, S.112.

4) Etwas modifiziert versteht Meier besonders die gemeinsame Forschung aller Unternehmen einer Branche als Gemeinschaftsforschung, vgl. Meier, Jens: Gemeinschaftsforschung und fachbezogene Wissenschaftsforschung, Essen - Bredemey 1961, S.10 u. 14.

5) Vgl. Wellinger, Roger: Möglichkeiten und Grenzen der Gemeinschaftsforschung, in: Siegwart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.86.

len Gegebenheiten zugeschnitten werden. Eigene FE bleibt folglich weiterhin notwendig, um die Anpassung der neuen Ergebnisse über die Entwicklung zur produktionstechnischen Auswertung zu ermöglichen¹⁾.

Unternehmen entscheiden sich für Gemeinschaftsforschung, wenn ihre eigenen FE-Kapazitäten schon voll ausgelastet sind, die eigene Durchführung des Projekts die Finanzkraft übersteigen würde oder die geeignete Größenordnung für eine effiziente FE nicht erreicht werden kann. Dementsprechend wird diese FE-Form häufig als geeignetes Mittel für Klein- und Mittelbetriebe angesehen, sich auf wirtschaftlich tragbarem Aufwandsniveau die notwendige Basis technisch-wissenschaftlicher Kenntnisse zu sichern, da für effiziente FE häufig ein gewisses Mindestmaß an Ressourceneinsatz für erforderlich gehalten wird, welches sich viele Unternehmen nicht leisten wollen oder können²⁾. Aber auch große Unternehmen schließen sich zur Gemeinschaftsforschung zusammen. Ihr Anliegen ist vor allem die Streuung der Risiken langwieriger und aufwendiger FE-Projekte³⁾.

Da die aus der gemeinsamen Forschung resultierenden Ergebnisse grundsätzlich allen Beteiligten im gleichen Maße zur Verfügung stehen, erwächst dem einzelnen Unternehmen aus der Teilnahme nur insofern ein Vorteil, als es die Kenntnisse effizienter zu nutzen versteht als die Konkurrenz. Gemeinschaftsforschung hilft, ineffiziente Parallelarbeit in der Forschung zu vermeiden⁴⁾, und schafft eine zusätzliche Möglichkeit zur intensiven Kontaktpflege mit der Konkurrenz⁵⁾.

-
- 1) Vgl. Reuter, Joachim F.: Forschungspolitik und Forschungsplanung, Berlin 1970, S.52.
 - 2) Vgl. Kamp, Ernst und Eva May: Forschung und Entwicklung in kleinen und mittleren Unternehmen, in: ZfB, 51.Jg., 1981, S.358; zum Problem einer Forschungswelle s.auch: Brockhoff, Klaus: Wachstumsschwellen und Forschungsschwellen, in: ZfB, 50.Jg., 1980, S.475-499.
 - 3) Vgl. Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, a.a.O., S.564.
 - 4) Zum Problem der Parallelarbeit in FE s. insbes. die Arbeit von: Bund, Karlheinz, a.a.O.
 - 5) Vgl. Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, a.a.O., S.565.

1 1 2.4 Unsicherheit und Risiko industrieller Forschung und Entwicklung

In der Güterproduktion als wiederholbarem Prozeß werden Produktionsfaktoren in einer Art und Weise kombiniert, daß unter Voraussicht des angestrebten Ergebnisses kaum Ungewißheit über dessen Beschaffenheit besteht¹⁾, da das Verhältnis von Faktoreneinsatz und Produktionsergebnis "ziemlich genau"²⁾ bekannt ist. Die Lösung von FE-Aufgaben muß demgegenüber zwangsläufig mit Unsicherheiten behaftet sein, da neue Produkte und Verfahren gefunden werden sollen. Es bestehen zwar häufig bestimmte Vorstellungen konkreter Leistungsanforderungen an die Neuheiten, aber der Weg zur Gewinnung der Produkte und Verfahren und deren genaues Aussehen sind nicht bekannt³⁾. Es liegt gerade im Wesen der FE als Tätigkeit zur Informationsgewinnung, daß durch Kombination von bekanntem und neu zu erreichendem Wissen über die Ziele und vor allem die für ihre Erreichung einzusetzenden Mittel im Vorhinein noch keine gesicherten Erkenntnisse derart vorliegen, daß mit absoluter Sicherheit der Weg zu einer erfolgreichen FE-Aufgabenlösung vorgegeben werden könnte.

Da FE-Tätigkeiten zukunftsgerichtet sind, ist vollständiges und sicheres Wissen über das jeweilige FE-Ergebnis nicht zu erlangen, da Informationen über Zukünftiges immer unvollständig und unsicher sein müssen⁴⁾. Unvollkommene Informationen spiegeln die Ungewißheit über die Zukunft wieder und

-
- 1) Vgl. Kaufer, Erich: Die Ökonomie von Forschung und Entwicklung. Die Mikroökonomie des technischen Fortschritts in wettbewerbstheoretischer Sicht, in: Ernst Joachim Mestmäcker (Hrsg.): Wettbewerb als Aufgabe, Bad Homburg v.d.H. - Berlin - Zürich 1968, S.438.
 - 2) Unterguggenberger, Silvio: Betriebswirtschaftliche Überlegungen zur Problematik der Forschungs- und Entwicklungskosten für neue Industrieprodukte, in: ZfB, 42.Jg., 1972, S.264.
 - 3) Vgl. Drygas, Hilmar: Kostenschätzungen bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.): Methoden und Probleme der Forschungs- und Entwicklungsplanung, München - Wien 1972, S.119; Freedman, Paul: The Principles of Scientific Research, 2.Aufl., Oxford - London - New York - Paris 1960.
 - 4) Vgl. Wittmann, Waldemar: Information, in: HWO, Sp.897.

führen zu Unsicherheit bezügl. der Erwartungen über zukünftige Ereignisse¹⁾. Hat ein Entscheidungsträger bestimmte Erwartungen in dem Sinne, daß er festgelegte Urteile über eine zukünftige Situation oder eine bevorstehende Entwicklung gefällt hat, so wird er seine Verhaltensweise dementsprechend ausrichten²⁾. Der unsichere Charakter der Erwartungen beinhaltet jedoch die Möglichkeit der Fehlentscheidung, da Ereignisse geschehen können, die dem tatsächlichen Eintreten erwarteter Zustände zuwiderlaufen³⁾. Diese Möglichkeit des teilweisen oder völligen Nicht-Eintretens eines antizipierten Zustandes wird als Risiko bezeichnet⁴⁾. Gemessen werden kann es anhand der Abweichungen von erwarteten und tatsächlichen Werten⁵⁾.

Ungewißheit und unternehmerische Entscheidung müssen zusammenwirken, um betriebswirtschaftliche Risiken entstehen zu lassen⁶⁾.

FE als Tätigkeit zur Gewinnung neuer Kenntnisse ist immer mit Unsicherheit und Risiko behaftet, da vollkommene Informationen über diese erst zu erlangenden Kenntnisse ex definitione ausgeschlossen sind⁷⁾.

Quelle der Unsicherheit im FE-Bereich ist die graduell-abgestufte Unkenntnis über das Arbeitsergebnis bzw. die Bedingungen, unter denen es zustande kommt, und die spätere Verwertbarkeit dieser Ergebnisse⁸⁾. Die Hauptrisiken sind

-
- 1) Vgl. Blake, Stewart B., a.a.O., S.13.
 - 2) Vgl. Albach, Horst: Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1959, S.4.
 - 3) Vgl. Wittmann, Waldemar: Unternehmung und unvollkommene Information, Köln und Opladen 1959, S.32.
 - 4) Vgl. Philipp, Fritz: Risiko und Risikopolitik, Stuttgart 1967, S.13, zum Begriff des Risikos s.insbes. S.34-38.
 - 5) Vgl. Eucken, Walter: Die Grundlagen der Nationalökonomie, 8.Aufl., Berlin - Heidelberg - New York 1965, S.141; Heudorfer, Michael: Zur Ex-Ante-Bewertung und Auswahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in Industrieunternehmen, Diss. Karlsruhe 1977, S.34.
 - 6) Vgl. Strebel, Heinz: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmungen, a.a.O., S. 55.
 - 7) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.70.
 - 8) Vgl. Klein, Burton H.: The Decision Making Problem in

folglich unterscheidbar in ein Produktions- und ein Verwertungsrisiko¹⁾.

Unsicherheiten bei der Produktion technischen Wissens bestehen hinsichtlich

- des wissenschaftlich-technischen Ergebnisses der FE-Tätigkeit,
- des tatsächlichen im Verhältnis zum geplanten Zeitbedarfs,
- der erforderlichen Aufwendungen im Vergleich zu den erwarteten Aufwendungen²⁾.

Die Unsicherheit des Arbeitsergebnisses besteht zum einen in der Frage, ob überhaupt ein nützliches Resultat der FE erreicht wird, zum anderen, ob dieses Ergebnis auch dem erstrebten entspricht. Unterschiede von tatsächlich gewonnen und erwarteten Kenntnissen können die Lösung einer FE-Aufgabe verhindern oder beeinträchtigen, im günstigsten Fall aber auch fördern, indem nicht vorhersehbare Ergebnisse erzielt werden, deren Verwendung im weiteren FE-Prozeß neue Problemlösungsmöglichkeiten eröffnet. Auch können gänzlich unerwartete Ergebnisse auftreten, die vollkommen neue Anwendungsperspektiven in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht eröffnen³⁾. Da Grundlagenforschung eine besonders große Divergenz der von bei Aufgabenstellung vorhandenen und zur Aufgabenlösung notwendigen Kenntnisse aufweist und sich die Suche nach neuem Wissen auf nur unscharf

Development, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.479; Baker, Norman R.: R + D Project Selection Models: An Assessment, in: IEEE, Vol.EM-21, 1974, S.167.

- 1) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.56; ähnlich auch: Freudenmann, Helmut: Planung neuer Produkte, Stuttgart 1965, S.34; Marshall, A.W. und W.H.Meckling: Prognostizierbarkeit von Kosten, Dauer und Erfolg von Entwicklungsvorhaben, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.394; Hostettler, Werner Fritz: Bestimmungsfaktoren der industriellen Forschung und Entwicklung, Zürich 1972, S. 107ff; Beckurts, Karl-Heinz, a.a.O., S.37.
- 2) Vgl. Strebel, Heinz: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmungen, a.a.O., S.56.
- 3) Vgl. ebenda, S.59f.

umrissene Problemkreise stützt, ist bei dieser Stufe der Forschung Unsicherheit und Risiko am größten¹⁾. Im Verlauf der Forschungstätigkeit kann zwar sowohl durch Erreichen von Teilzielen als auch durch das Fehlschlagen von Teilprojekten der Kenntnisstand der forschenden Institution erhöht werden, über eine entsprechende Verringerung des Risikos durch Einengung des Spektrums der Lösungsalternativen ist aber keine Aussage möglich. So können sich durch die Lösung von Teilproblemen gänzlich neue Problemkreise auftun, die einen Projektfortschritt verhindern. Dementsprechend kann die These einer zunehmenden Erfolgswahrscheinlichkeit bei Erreichen von Etappenzielen keine Allgemeingültigkeit beanspruchen. Ist nicht bekannt, in welcher Nähe zum Ziel man sich befindet, verändert sich die Erfolgswahrscheinlichkeit in jedem Stadium davor nicht. Erst die Zielerreichung zeigt den Erfolg, vorheriges Erreichen von Zwischenergebnissen kann, muß aber noch keinen FE-Fortschritt bedeuten²⁾.

Aufgaben der angewandten Forschung und Entwicklung können genauer umrissen werden. Aufgrund des schon erhöhten Wissenstandes kann eine verbesserte Einschätzung der Erfolgswahrscheinlichkeit vorgenommen und das Risiko entsprechend vermindert werden. In dem Maße, wie die Schätzsicherheit durch das erhöhte Informationsniveau zunimmt, sinkt die Unsicherheit, so daß von Forschungsstufe zu Forschungsstufe tendenziell die Risiken einer falschen Entscheidung abnehmen. Es kann jedoch nur von einer Tendenz gesprochen werden, da im konkreten Einzelfall auch Projekte der angewandten Forschung und Entwicklung durch neu gewonnene Informationen eine Verringerung der Erfolgsaussichten erfahren können³⁾.

1) Vgl. Böning, Dieter Jobst, a.a.O., S.31.

2) Vgl. Theesen, Ephratus: Die Methodik der Bewertung industrieller Forschungs- und Entwicklungsprojekte, Diss. Berlin 1977, S.211f.

3) Vgl. Strebel, Heinz: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmungen, a.a.O., S.58.

Die Unsicherheit bezüglich des Zeitbedarfs für das Erreichen eines erstrebten Ergebnisses ist umso größer, je höher die Unsicherheit über das Arbeitsergebnis selbst ist¹⁾. Je mehr neue Probleme im Verlauf der FE auftauchen, desto öfter wird auch die Planung des Zeitbedarfs revidiert werden müssen. Zeit wird in der industriellen FE benötigt für:²⁾

- das Sammeln von Daten, Durchsicht früherer Arbeiten, Problembestimmung und Gewinnung von Hypothesen über Lösungswege,
- Vorbereitung der Apparatur und Auswahl der Arbeitsmethoden,
- Experimentieren,
- Finden von Lösungen hinsichtlich wechselseitiger Beziehungen der Variablen,
- Verifikation der Lösungen und Übertragung auf großtechnische Anlagen.

Jeder dieser Punkte bietet mögliche Ansätze zur Verringerung des Zeitbedarfs, in jedem liegen aber auch erhebliche Zeitriskiken, die eine genaue Bestimmung des Zeitbedarfs verhindern.

Aufgabe der FE ist es nicht, in zeitlich unbegrenztem Rahmen Ergebnisse zu erbringen³⁾. Die wirtschaftlichen Verwertungschancen hängen wesentlich davon ab, daß das Ergebnis der FE vor den entsprechenden Angeboten der Konkurrenz auf den Markt gelangt. Im Extremfall kann dies dazu führen, daß Qualitätseinbußen in Kauf genommen werden, weil der frühestmögliche Markteintritt wichtiger eingeschätzt werden kann, als das Hervorbringen der technisch besten Lösung⁴⁾.

Unsicherheit bezüglich der FE-Aufwendungen besteht selbst dann, wenn über die Zeit konstante Faktorqualitäten, -preise und -mengen unterstellt werden. Dies folgt alleine schon

1) Vgl. Heudorfer, Michael, a.a.O., S.31.

2) Vgl. Hertz, David B.: The Theory and Practice of Industrial Research, New York - Toronto - London 1950, S.162.

3) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.72.

4) Vgl. Zenz, Philipp, a.a.O., S.62; Redmond, John C.: Essential Elements of Research in Industry, in: RM, Vol.10, 1967, S.185.

aus der ungewissen Zeitdauer und der damit einhergehenden nicht vorhersehbaren Nutzungsdauer der Faktoren.

Empirische Untersuchungen belegen die Prognoseschwierigkeiten bezüglich der Kosten bestimmter FE-Projekte. Für militärische Projekte wurden Abweichungen von bis zu 300 Prozent ermittelt¹⁾, im zivilen Bereich fand man durchschnittliche Kostenüberschreitungen von 75 Prozent, wobei auch Überschreitungen von 150 Prozent keine Seltenheit waren²⁾.

Neben den Unsicherheiten bei der Produktion des technischen Wissens bestehen Unsicherheiten über die wirtschaftlichen Verwertungsmöglichkeiten der Forschungsergebnisse, da die technische Lösung eines Problems zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingungen für den gewinnerhaltenden und -steigernden Einsatz der FE-Ergebnisse ist.

Komponenten des Risikos der wirtschaftlichen Verwertbarkeit sind Marktveränderungen, ausreichende Nachfrage, der Neuheitsgrad eines FE-Ergebnisses, die Rückflußzeit des eingesetzten Kapitals, Konkurrenzpreise und Konkurrenzverhalten, Produktionsmöglichkeiten und die damit verbundenen Aufwendungen, Finanzierungsrisiken und bestehende sowie zukünftig zu erwartende rechtliche Hemmnisse³⁾.

Alle diese Faktoren müssen einer ständigen Beobachtung unterliegen, wobei deren Veränderungen frühzeitig erkannt und in entsprechenden Planrevisionen berücksichtigt werden sollten, da Anpassungsprozesse umso schwieriger werden, je weiter ein FE-Projekt fortgeschritten ist.

Als Maßnahmen zur Verringerung der Unsicherheit im FE-Sektor nennt Schätzle die gleichzeitige Inangriffnahme mehrerer Lösungswege zur Erreichung eines Zieles. Wenn dann im Zuge des FE-Prozesses genauere Informationen über die Erfolgsaussichten eines Weges vorliegen, kann eine Entscheidung zugunsten dieser Alternative erfolgen⁴⁾. Diese Methode der Parallelforschung kann dann unvorteilhaft werden,

1) Vgl. Marshall, A.W. und W.H. Meckling, a.a.O., S.401.

2) Vgl. Erlen, Hubertus: Kostenprognose für FE-Projekte, München 1972, S.15.

3) Vgl. Theesen, Ephratus, a.a.O., S.214ff.

4) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.74.

wenn trotz erhöhtem Einsatz der FE-Ressourcen Erfolge ausbleiben und gleichzeitig Kapazitäten gebunden werden, die sonst für andere, vielleicht erfolgreichere Projekte zur Verfügung ständen¹⁾. Zenz verweist im Rahmen der Risikopolitik auf eine möglichst umfassende Dokumentation und Information²⁾. Zweifelsohne wird durch Erhöhung des Informationsniveaus eine größere Sicherheit der Erfolgseinschätzung möglich sein. Die Einrichtung eines umfassenden Informationssystems ist aber nur eine von vielen Maßnahmen zur Senkung des Risikos. Als weitere Einzelmaßnahmen werden genannt:

- Risikostreuung und -kompensation³⁾,
- Flexible Planung mit der Möglichkeit, zwischenzeitliche Planänderungen vorzunehmen, Planungsreserven einzubauen und Alternativpläne zu erstellen⁴⁾,
- Kauf von fertigen FE-Ergebnissen über den Erwerb von Patenten und Lizenzen⁵⁾.

Im Rahmen eines umfassenden Vorgehens müssen FE-Abteilungen im Hinblick auf Einrichtungen, Kommunikationstechniken, organisatorische Gestaltung, Arbeitsabläufe und personelle Besetzung so gestaltet werden, daß Forschungsarbeiten unter minimalem Risiko ablaufen können.

Gibt es Ausprägungen dieser "design features"⁶⁾, welche besonders in FE-Abteilungen mit niedrigem Forschungsrisiko und gleichzeitig hoher Effizienz anzutreffen sind, so könnte eine Ausrichtung an der Gestaltung des FE-Bereiches, wie sie Unternehmen mit erfolgreicher FE aufweisen, zu einer Reduktion des FE-Risikos führen⁷⁾.

Zu häufige Fehlentwicklungen im Rahmen der industriellen FE können, wie Albach anhand theoretischer Modelle zeigt,

1) Vgl. Böning, Dieter-Jobst, a.a.O., S.40f.

2) Vgl. Zenz, Philipp, a.a.O., S.67ff.

3) Vgl. Geschka, H., a.a.O., S.82.

4) Vgl. Theesen, Ephratus, a.a.O., S.225.

5) Vgl. Strebel, Heinz: Unsicherheit und Risiko der industriellen Forschung und Entwicklung, in: BFuP, 20.Jg., 1968, S.213.

6) Rubenstein, Albert H.: Setting Criteria vor R + D, in: HBR, Vol.35, H.1, 1957, S.99.

7) Vgl. ebenda, S.100.

nicht nur das Wachstum einer Unternehmung erheblich bremsen, sondern sie können auch zu deren Untergang führen¹⁾. In diesem Sinne ist eine sinnvoll gesteuerte Risikopolitik unerläßlich, zumal wenn Angaben aus der Praxis über die mögliche Rate der Fehlentwicklungen in Betracht gezogen werden: Chorafas bemerkt, daß 95 Prozent der von dem amerikanischen Chemieunternehmen Du Pont de Nemours bearbeiteten Projekte kein Ergebnis brachten²⁾. Mellerowicz nennt Zahlen aus einem Pharmaunternehmen, denen zufolge nur 0,05 Prozent aller hergestellten, untersuchten und erprobten Stoffe für eine Einführung am Markt in Betracht kommen.³⁾ Booz, Allen, Hamilton kommen nach einer ausgedehnten Studie in amerikanischen Chemieunternehmen auf ein Verhältnis von fehlgeschlagenen zu erfolgreichen Entwicklungsprojekten von acht zu eins⁴⁾. Diese Zahlen verdeutlichen, daß im Interesse einer effizienten Ressourcenallokation im FE-Sektor umfassende Ansatzpunkte für eine Reduktion der Fehlschlagshäufigkeit gefunden werden müssen.

1 2 3 Unternehmensziele und Forschungs- und Entwicklungs-Ziele

Wirtschaftliches Handeln erfordert ständiges Auswählen von Alternativen. Erfolgt eine derartige Wahlhandlung bewußt, spricht man von Entscheidung. Unternehmerische Entscheidungen lassen sich in zwei Gruppen aufteilen: Zum einen in Zielentscheidungen bzw. Zielsetzungsentscheidungen, die die Verhaltensweise eines Unternehmens bestimmen, zum anderen in Mittel- bzw. Zielerreichungsentscheidungen, welche im Rahmen der unternehmerischen Zielsetzung getroffen werden und daher von dieser beeinflußt sind⁴⁾.

-
- 1) Vgl. Albach, Horst: Zur Theorie des wachsenden Unternehmens, in: Krelle, Wilhelm (Hrsg.): Theorien des einzelwirtschaftlichen und des gesamtwirtschaftlichen Wachstums, Berlin 1965, S.75ff.
 - 2) Vgl. Chorafas, D.N., a.a.O., S.31.
 - 3) Vgl. Mellerowicz, Konrad: Forschungs- und Entwicklungstätigkeit als betriebswirtschaftliches Problem, a.a.O., S.17.
 - 4) Vgl. Booz, Allen, Hamilton-Management Consultants, a.a.O., S.14.
 - 5) Vgl. Heinen, Edmund: Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen. Das Zielsystem der Unternehmung, 3.Aufl., Wiesbaden 1976, S.18f.

Unternehmerentscheidungen sind demgemäß Entscheidungen über Ziele und Mittel wirtschaftlichen Handelns.¹⁾

Den auf den Wirtschaftssektor bezogenen Unternehmenszielen sind "die originären, unmittelbaren, definitiven"²⁾ Ziele der Menschen vorgelagert. Aus den Motiven menschlichen Verhaltens resultiert eine nach dem Grad der Dringlichkeit aufgebaute Hierarchie von Bedürfnissen, wobei in der Reihenfolge des abnehmenden Verhaltenseinflusses physiologische, Sicherheits-, soziale, Wertschätzungs- und Selbstverwirklichungsbedürfnisse unterschieden werden³⁾.

Zusammen mit den Werthaltungen der Machttträger der jeweiligen Unternehmen werden mittelbar über die Unternehmensphilosophie als System von Leitmaximen zusammen mit deren fundamentalen Motiven die Unternehmensziele bestimmt⁴⁾.

Auf unterer Ebene liegend haben Unternehmensziele nur Mittelcharakter zum Erreichen der eigentlichen Ziele menschlichen Handelns. Ihnen kommt damit der Charakter von Zwischenzielen zu.

Dieses Ziel-Mittel-Verhältnis setzt sich im ökonomischen Bereich dergestalt fort, daß das Erreichen des primären Unternehmenszieles wiederum die Erfüllung abgeleiteter Unternehmensziele auf verschiedenen Ebenen erfordert. Diese untergeordneten Ziele sind in Bezug auf das Primärziel als Mittel anzusehen, sie sind jedoch letztes Ziel der diesen wiederum untergeordneten Ziele, die ihrerseits Mittel darstellen. Jedes Mittel, das dem ursprünglichen Ziel dient, wird also seinerseits zum Ziel, zu dessen Erreichen Mittel eingesetzt werden, die wiederum Ziel für weitere Mittel sind.

Demnach läßt sich in Unternehmen ein hierarchisch gegliedertes Zweck-Mittel-Gefüge nachweisen, in dem alle

1) Vgl. Bidlingsmaier, Johannes: Unternehmerziele und Unternehmerstrategien, Wiesbaden 1973, S.17.

2) ebenda, S.76.

3) Erläuterungen zu den einzelnen Motiven finden sich bei: Maslow, Abraham H: Motivation and Personality, 2.Aufl., New York - Evanston - London 1970, S.35ff.

4) Vgl. Schierenbeck, Henner: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, 7.Aufl., München - Wien 1983, S.52ff.

untergeordneten Ziele bezüglich eines oder mehrerer übergeordneter Ziele Mittelcharakter annehmen¹⁾.

Geht man mit Gutenberg davon aus, daß letzter Sinn und Zweck aller wirtschaftlichen Betätigung in marktwirtschaftlich organisierten Systemen ein möglichst hohes Niveau der Bedarfsdeckung ist, so ist die betriebliche Leistungserstellung gemäß dem erwerbswirtschaftlichen Prinzip Garant für eine bestmögliche Güterversorgung. Leistungserstellung in diesem Sinne ist aber in dem einzelnen Unternehmen gleichzeitig Mittel zum Zweck der Gewinnerzielung²⁾. Bedarfsdeckung in volkswirtschaftlicher Sicht als Endziel allen Wirtschaftens bedingt folglich bei Einhaltung des erwerbswirtschaftlichen Prinzips aus privatwirtschaftlicher Sicht als Unternehmensziel das Gewinnstreben. Maßgrößen für die Zielerreichung sind dabei Gewinn oder Rentabilität.

Überragender Einfluß auf diese Größen geht in einer dynamischen und hochindustrialisierten Wirtschaft von der Innovationstätigkeit der Unternehmen aus³⁾. Eine Untersuchung zur Lebensdauer von nahezu hundert in einem Jahr herausgebrachten Neuheiten eines Unternehmens zeigte, daß der Anteil der noch im Produktionsprogramm befindlichen Produkte nach fünf Jahren nur noch 22 Prozent betrug und im 12. Jahr schon keines der Produkte mehr verkauft werden konnte⁴⁾. Ohne ständige Neuerungstätigkeit wären folglich für das betreffende Unternehmen schon innerhalb kurzer Zeit beträchtliche Umsatz- und Gewinneinbußen zu erwarten.

Jede erstmalige Einführung einer Neuerung ist eine Innovation. Dabei kann es sich sowohl um Prozesse, als auch um Ergebnisse handeln, je nachdem, ob eine Neuerung erstmalig in einem System, z.B. einem Unternehmen, vollzogen wird

1) Vgl. Bidlingsmaier, Johannes, a.a.O., S.76f.

2) Vgl. Gutenberg, Erich: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band, Die Produktion, 23.Aufl., Berlin - Heidelberg - New York 1979, S.465; Kosiol, Erich, a.a.O., S.20f.

3) Vgl. Hielscher, Udo; Gerhard, Dorn; Gerhard Lampe: Innovationsfinanzierung mittelständischer Unternehmen, Stuttgart 1982, Vorwort S.V.

4) Vgl. Collinson, H.A.: Industrielle Forschung und Entwicklung richtig organisieren, München 1964, S.148f.

oder sich als Ergebnis einer innovationsbedingten Änderung eine Novität ergibt¹⁾. Knight unterscheidet in seiner Klassifikation der Innovationen vier verschiedene Formen: Produkt und Serviceinnovationen, Prozeßinnovationen, Organisations- bzw. Strukturinnovationen und Personalinnovationen²⁾.

Faßt man den Innovationsbegriff objektbezogen auf (Innovation wird also auf das Ergebnis eines Neuerungsprozesses bezogen) und bestimmt den Begriff unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten, bleiben in obiger Klassifikation Produkt- und Prozeßinnovationen für eine nähere Betrachtung übrig. Da die Aufgabe der industriellen FE darin besteht, die technische Wissensbasis eines Unternehmens zu vergrößern, können Strukturinnovationen, z.B. in Form von Veränderung der Autoritätshierarchie, oder Personalinnovationen, z.B. verbesserte Mitarbeiterschulung, nicht primäre Objekte technologischer Bemühungen sein³⁾.

Erfüllt eine technische Innovation das Kriterium der Neuheit und der ökonomischen Nutzenanwendung⁴⁾, kann die Erscheinungsform der Verwertung technologischen Wissens die Gestalt neuer oder verbesserter Produkte, neuer oder verbesserter Verfahren oder neuer Anwendungsmöglichkeiten für bekannte Erzeugnisse, Stoffe und Verfahren annehmen⁵⁾.

-
- 1) Vgl. Bleicher, Knut: Innovation, in: HW Prod. Sp.801f.
 - 2) Vgl. Knight, Kenneth, E.: A Descriptive Model of the Intra-Firm Innovation Process, in: JoB, Vol.40, 1967, S.482. Eine andere Klassifikation von Innovationstypen auf der Basis der Merkmalskombinationen von zwanzig Variablen nennt: Uhlmann, Luitpold: Der Innovationsprozeß in westeuropäischen Industrieländern. Band 2: Der Ablauf industrieller Innovationsprozesse, Berlin 1978, S.21ff. Mensch unterscheidet dagegen Basis- und Verbesserungsinnovationen; vgl.: Mensch, Gerhard: Basisinnovationen und Verbesserungsinnovationen, in: ZfB, 42.Jg., 1972, S.291-297 und ders.: Das technologische Patt, Frankfurt/Main 1975, S.54ff.
 - 3) Vgl. Paßmann, Bodo, a.a.O., S.38.
 - 4) Vgl. Pfetsch, F.R.: Zum Stand der Innovationsforschung, in: Neuloh, Otto und Walter Ruegg (Hrsg.): Innovationsforschung als multidisziplinäre Aufgabe, Göttingen 1975, S.11.
 - 5) Vgl. Strebel, Heinz: Innovation und ihre Organisation in der mittelständischen Industrie - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, Berlin 1979, S.3f.

Produktinnovationen beinhalten die Aufnahme eines neuen Produktes in das Produktionsprogramm eines Unternehmens. Der Neuheitsgrad richtet sich dabei nach dem Stand des wissenschaftlich-technischen Wissens im jeweiligen Unternehmen¹⁾. Dieser Begriff der Neuheit ist nicht unumstritten, da neben dem Blickwinkel des innovierenden Unternehmens als weitere Dimensionen der Betrachtungsweise zum einen eine makroökonomische Betrachtung von Innovationen möglich ist, zum anderen die Neuerung am Markt gleichzeitig aus der Perspektive der Nachfrage gänzlich verschieden gesehen werden kann. In makroökonomischer Betrachtung gilt die von einem Pionier realisierte Neuerung nur bei erstmaligem Auftreten innerhalb der gesamten Volkswirtschaft als Neuerung. Im späteren Diffusionsprozeß erfolgt die allgemeine Phase der Verbreitung der Anwendung der Neuerung²⁾. Aus der Sicht des Nachfragers kann ein Neuheitserlebnis schon durch veränderte Werbebotschaften, neue Preise oder geänderte Verpackungen hervorgerufen werden³⁾. Da die marktmäßige Sicht auch von anderen als technischen Überlegungen geprägt sein kann, gilt der Begriff der Neuheit im folgenden nur aus der Sicht des einzelnen Unternehmens⁴⁾. Entscheidend für ein Unternehmen ist dessen subjektiver Wissenstand. Von dieser Basis aus können die Probleme der Schaffung neuer Wissenspotentiale oder neuer An- und Verwendungsbereiche erkannt, Methoden zur Lösung ermittelt und die entsprechenden Tätigkeiten gesteuert werden⁵⁾. Das für eine Innovation neue Wissen kann dabei zum einen

-
- 1) Vgl. Marr, Rainer: Innovation, in: HWO, Sp.950; Thom, Norbert, a.a.O., S.34.
 - 2) Vgl. Witte, Eberhard: Organisation für Innovationsentscheidungen, Göttingen 1973, S.2f.
 - 3) Vgl. Meffert, Herbert: Marketing, 6.Aufl., Wiesbaden 1982, S.335; Schmidt-Grohe, Jochen: Produktinnovation, Wiesbaden 1972, S.26.
 - 4) Vgl. Schelker, Thomas: Problemlösungsmethoden im Produktinnovationsprozeß, Bern 1976, S.4; Marr, Rainer: Innovation und Kreativität, Wiesbaden 1973, S.27; Schmidt, Götz: Produkt-Innovation und Organisation, Diss.Gießen 1969, S.12.
 - 5) Pfeiffer, Werner und Erich Staudt: Innovation, in: HWB, Sp.1948.

organisationsintern, also in unternehmenseigenen FE-Abteilungen, zum anderen aber auch extern käuflich erworben werden. Alternativen sind dafür je nach Situation Lizenzen, Beteiligungs- oder Unternehmenskauf¹⁾.

Ein verbessertes Produkt hat gegenüber einem bisher von dem Unternehmen angebotenen Produkt eine Veränderung hinsichtlich seiner technischen Qualität bzw. seiner Funktion erfahren. Das bisher schon im Produktionsprogramm befindliche Produkt kann durch ein derart verbessertes Produkt ersetzt werden, oder das verbesserte tritt neben das alte Produkt und wird zugleich mit diesem am Markt angeboten²⁾.

Produktmodifikation, als physische Produktveränderung, die nicht auf einer Erweiterung der Basis naturwissenschaftlich-technischer Kenntnisse beruht³⁾, sowie Produktverbesserung und Produktinnovation liegen auf einem Änderungskontinuum, wobei die Grenzen zwischen den einzelnen Stufen verschwimmen. Operationalisieren läßt sich die "Innovationsschwelle" nur dahingehend, daß als Grundlage der Innovation neues technisches Wissen dienen muß.

Produktinnovationen führen bei dem innovierenden Unternehmen zu einem temporären Leistungsmonopol und fördern dementsprechend Umsatz- und Gewinnsteigerungen vor allem durch die spezifischen Neuerungsgewinne⁴⁾.

Prozeß- oder Verfahrensinnovationen sind geplante Änderungen im Prozeß der Faktorkombination. Neues technisches Wissen wird nicht auf das Ergebnis, sondern auf den Prozeß der Leistungserstellung bezogen. Neue oder verbesserte Produktionsverfahren im Sinne von planmäßigen und wiederholbaren Vorgängen zur Lösung von Produktionsaufgaben

1) Vgl. Marr, Rainer: Innovation, a.a.O., S.950.

2) Vgl. Kowalski, Ulrich, a.a.O., S.32.

3) Vgl. Marr, Rainer: Innovation und Kreativität, a.a.O., S.26.

4) Vgl. Strebel, Heinz: Innovation und ihre Organisation in der mittelständischen Industrie. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, a.a.O., S.4.

ben¹⁾ führen über Leistungs- und Qualitätssteigerungen zu billigeren und/oder besseren Produkten. Das neue oder verbesserte Verfahren kann zur Herstellung eines neuen oder verbesserten Produktes eingesetzt werden, es kann aber auch nur zur veränderten Produktionsweise schon im Produktprogramm befindlicher Erzeugnisse verwendet werden. Außerdem kann das neue oder verbesserte Verfahren selbst eine Produktinnovation darstellen, wenn es als Endprodukt verkauft wird. Gehen Verfahrensinnovationen mit billigerer, weniger Ressourcen verzehrender und damit kostensparender Produktion einher, führt deren Einführung unmittelbar zu Gewinn- und Rentabilitätssteigerungen.

Anwendungsinnovationen bestehen in der Einführung neuer Anwendungsmöglichkeiten und Verwendungszwecke für schon bekannte Produkte und Verfahren. Sie erhalten angesichts zunehmender Rohstoffverknappung und Kostensteigerung wachsende Bedeutung, da auch die wirtschaftliche Verwertung von Abfällen aus Produktion und Konsum angestrebt wird. Beispiel dafür ist die Einführung des Recycling-Papiers oder der Einsatz von Kunststoffen für immer neue Anwendungen.

Innovation als Prozeß betrachtet, ist eine Kette von Ereignissen, Entscheidungen und Tätigkeiten, die sich in allgemeinsten Form in Erforschung, Entwicklung und Anwendung von Wissen über Eigenschaften, Einsatzbedingungen und Einsatzbereiche der Technik strukturieren läßt.²⁾

-
- 1) Vgl. Riebel, Paul: Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht, Wiesbaden 1963, S.12f.
2) Vgl. Hielscher, Udo; Gerhard Dorn; Gerhard Lampe, a.a.O., S.5.

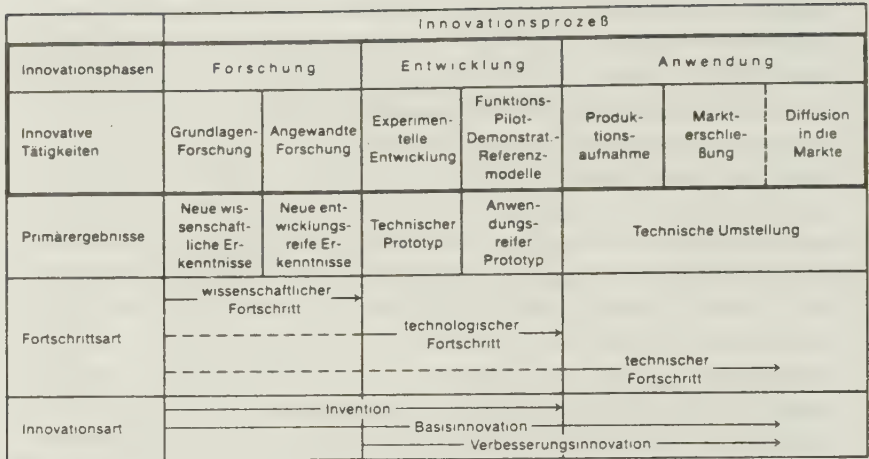


Abb. 9: Innovationsphasen, innovative Tätigkeiten, Primäresultate, Fortschritts- und Innovationsarten
Quelle: Hielscher, Udo; Gerhard Dorn; Gerhard Lampe, a.a.O., S.6.

Abbildung 9 veranschaulicht den Innovationsprozeß und die dazugehörigen Phasen der Forschung, Entwicklung und Anwendung, mitsamt deren weiterer Untergliederung.

Die primären Resultate der jeweiligen Innovationsphase werden gezeigt und ihre Verknüpfung mit den diversen Fortschrittsarten verdeutlicht.

Zusätzlich erfolgt die Aufteilung in Basisinnovationen, als Nutzung von bisher gänzlich unbekannten und neuartigen Wirkungszusammenhängen, und Verbesserungsinnovationen, welche aus Neukombinationen oder Weiterentwicklungen schon bekannten Wissens erwachsen.¹⁾

Idealtypisch verläuft der Innovationsprozeß so, daß über Theorien, Hypothesen oder Beobachtungen bisher verborgene Phänomene, Gesetzmäßigkeiten und Objekte entdeckt und diese

1) Vgl. Mensch, Gerhard: Das technologische Patt, a.a.O., S.73.

im Rahmen der Grundlagenforschung soweit ergründet werden, daß sie im Experiment kontrolliert ablaufen können. Im Rahmen der angewandten Forschung werden anschließend Anwendungsbedingungen und -möglichkeiten geklärt und in der Entwicklungsphase anwendungsreife Prototypen erstellt, sowie deren grundsätzliche Produktionsbedingungen geklärt. In der nachfolgenden Diffusionsphase erfolgt die Herstellung und marktmäßige Verbreitung der Neuerung.¹⁾

Die hier beschriebene, klar strukturierte Phaseneinteilung gemäß dem zeitlichen Ablauf ist nicht zwingend, da die Abgrenzung der einzelnen Phasen in der Praxis nicht ohne Schwierigkeiten erfolgen kann. In der Realität sind die Phasen größtenteils miteinander verflochten, bestehen Wechselwirkungen zwischen den Stadien oder "Feed-back"-Effekte.²⁾

Ein Unternehmen, welches von fallweisen Entscheidungen, einzelne Neuerungen einzuführen, abbrückt und kontinuierlich unternehmerische FE betreibt, wird unter Ertragsgesichtspunkten diese Tätigkeit nur durchführen, wenn sie dem obersten Unternehmensziel der langfristigen Gewinn- bzw. Rentabilitätsoptimierung dient. Diesem Ziel wird gerade durch Hervorbringung wirtschaftlich erfolgreicher Innovationen in besonderer Weise Genüge getan. Grundlage für derartige Innovationen ist wiederum die Verfügbarkeit der für die Herstellung neuer Produkte oder für den Einsatz neuer Verfahren erforderlichen naturwissenschaftlich-technischen Kenntnisse. Diese zu erbringen, ist die vornehmliche Aufgabe industrieller FE. Oberstes Ziel der FE-Aktivitäten ist folglich das Generieren wirtschaftlich verwertbaren Wissens, wobei abgestuft nach den Forschungsphasen, das Ziel der Grundlagenforschung im Aufdecken bisher verborgener Phänomene oder Effekte und deren kontrollierte, experimentelle Darstellung liegt, während Zweck der angewandten Forschung die Klärung ihrer Anwendungsmöglichkeiten ist.

1) Vgl. Scholz, Lothar, a.a.O., S.79ff.

2) Vgl. Lahner, M. und E.Ulrich: Analyse von Entwicklungsphasen technischer Neuerungen, in: Mitteilungen des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Nr.6, Erlangen 1969, S.419.

Entwicklung schließlich zielt auf die Veredelung der Funktionsfähigkeit bis zur Anwendungsreife.

So wie das Rentabilitätsstreben oberstes Formalziel bzw. handlungsbestimmende Leitmaxime für das Unternehmen im Sinne Kosiols anzusehen ist,¹⁾ kann die Erzeugung von in der Produktion verwertbarem Wissen als oberstes Formalziel für die FE-Abteilung gelten²⁾. Die oben genannten Stufenziele gelten dabei entsprechend als Formalziele für die einzelnen Phasen der FE-Tätigkeit. Diese formalen Ziele reichen jedoch für die Gestaltung und Ausrichtung der konkreten FE-Tätigkeit nicht aus. Tatsächliche Aufgabenstellungen resultieren aus den die formalen Ziele ergänzenden Sachzielen. Sie spezifizieren und bestimmen die zu erstellenden Leistungen. Diese Sachziele müssen im Hinblick auf die obersten Formalziele instrumentalen Charakter haben, wenn die FE-Tätigkeit erfolgreich durchgeführt werden soll. Zum Zweck der Operationalisierung müssen Formal- und Sachziele in Unterziele bzw. Teilaufgaben zerlegt werden, wobei aus einem derart abgeleiteten Zielsystem Aufgabenstellungen erwachsen, die über alle einzelnen Arbeitsziele mit der Zielfunktion des Unternehmens vereinbar sind.³⁾

Die konkreten Arbeitsziele sind auf die einzelnen FE-Projekte gerichtet, deren Gesamtheit das FE-Programm eines Unternehmens darstellt. Wurde die Schaffung von Innovationsmöglichkeiten als eigentliches Ziel jeder FE genannt, gilt es doch, auch die sich gelegentlich von selbst einstellenden oder besonders herausgestellten Förderwirkungen der FE für die Erfüllung verschiedener Ziele herauszustellen, deren Erfüllung vorrangig anderen Unternehmensbereichen obliegt.⁴⁾ Derartige Wirkungen, die i.d.R. nicht so stark sind, daß sie alleine Ursache für den Aufbau einer FE-Abteilung sein könnten, sind:

-
- 1) Vgl. Kosiol, Erich: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1968, S.260ff.
 - 2) Vgl. Hertz, David B. und Philipp G. Carlson: Selection, Evaluation and Control of Research and Development, in: Dean, Burton V. (Hrsg.), a.a.O., S.170f.
 - 3) Vgl. Geschka, H.. a.a.O., S.260.
 - 4) Vgl. ebenda, S.65.

- Akquisitorische Nebenwirkungen, die der Mehrung des technischen, finanzwirtschaftlichen und personalpolitischen "Good-Will" dienen,
- interne technisch-wissenschaftliche Hilfs- und Beratungstätigkeit, in deren Rahmen Arbeiten anfallen, wie die gutachtliche Beratung bei der Aufstellung des Forschungsprogrammes, die Fehlersuche bei Produktionsstörungen und Kundenreklamationen oder die Beurteilung von Erzeugnissen der Konkurrenz,
- Hilfestellung und Unterstützung bei Auswahl und Schulung wissenschaftlicher und technischer Nachwuchskräfte,
- günstige Auswirkungen auf die Patentpolitik in der Form, daß die Position des Unternehmens beim Abschluß von Patentaustauschverträgen oder bei Beteiligung an Patentgemeinschaften gestärkt wird.¹⁾

1 2 4 Managementprobleme industrieller Forschung und Entwicklung

Funktion des Managements eines Unternehmens ist im weitesten Sinne die Erfüllung aller für dessen Steuerung notwendigen Aufgaben. Diese sind in erster Linie: Planung und Kontrolle sowie Organisation und Führung.²⁾

Die allgemeingültige Inhaltsbestimmung der Planungs- und Kontrollaufgaben lautet, "auf der Grundlage der unternehmenspolitischen Grundsatzentscheidungen sowie der sorgfältigen Analyse der gegenwärtigen und zukünftigen Umweltbedingungen und der eigenen Stärken und Schwächen der Unternehmung die aufzubauenden Markterfolgspotentiale (Produkte und Marktposition) und die zu ihrer Realisierung erforderlichen betrieblichen Leistungspotentiale zu bestimmen (strategische Planung). Andererseits sind die festgelegten strategischen Ziele periodisch in operationale, d.h. überprüfbare und auf einen Zeitraum bezogene Ziele und Maßnahmenpläne umzusetzen (operative Planung) sowie die erforder-

1) Vgl. Geschka, H., a.a.O., S.66f und die dort angegebene Literatur.

2) Vgl. Schierenbeck, Henner: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S.72.

lichen Mittel zuzuteilen (Budgetierung)"¹⁾. Ein entsprechendes Kontrollsystem muß fortwährend die Zielerreichung sowohl auf strategischer, als auch auf operationaler Ebene prüfen. Erst die Kontrolle zeigt solche Abweichungen vom Plan, die durch anschließend einzuleitende Korrekturmaßnahmen bereinigt werden müssen.²⁾ Kontrolle als Auswertung der realisierten und zuvor geplanten Aktivitäten bildet durch die Analyse der Zielerfüllung und der Ursachen von Zielabweichungen wiederum Grundlage für Folgeplanungen. Die Realisation des Planes im ökonomischen Rahmen des Unternehmens durch Schaffung personeller und sachlicher Voraussetzungen sowie geeigneter Funktionsbeziehungen zu ermöglichen, obliegt der Organisation.³⁾ Eine effiziente und flexible Organisation muß der Koordination des Einsatzes aller Ressourcen derart dienen, daß die im Plan konkretisierten Ziele optimal erreicht werden können. Gleichzeitig ist die Organisation so mit der Führung abzustimmen, daß zum einen die Entfaltung, zum anderen auch die Stimulierung des Leistungspotentials aller im Unternehmen Tätigen die Aufgabenerfüllung im vorher gesteckten Rahmen gewährleisten.⁴⁾

Diese Funktionsstruktur ist, wie in allen Bereichen eines Unternehmens, auch im Forschungs- und Entwicklungssektor anzutreffen. Die Aufgaben der Forschungsleitung in bezug auf die Management-Funktionen Planung und Kontrolle erstrecken sich auf die FE-Planung, Budgetierung, die Allokation von Ressourcen und die Festlegung von Prioritäten, sowie die Überwachung und Erfolgskontrolle.⁵⁾

Inhalt der FE-Planung ist die geistige Vorwegnahme und Bestimmung der FE-Ziele⁶⁾, sowie deren Abstimmung mit den

1) Ulrich, Peter und Edgar Fluri: Management, 3.Aufl., Bern und Stuttgart 1984, S.39.

2) Vgl. ebenda, S.40.

3) Vgl. Grosche, Klemens: Das Produktionsprogramm, seine Änderungen und Ergänzungen, Berlin 1967, S.62.

4) Vgl. Ulrich, Peter und Edgar Fluri, a.a.O., S.40.

5) Vgl. Bardy, Roland: Die Produktivität von Forschung und Entwicklung, Meisenheim am Glan 1974, S.58; Disman, S.: Selecting R + D Projects for Profit, in: Chemical Engineering, Vol.69, 1962, S.87.

6) Vgl. Schröder, Hans-Horst: Forschung und Entwicklung, in: HW Prod., Sp.633.

obersten Unternehmenszielen, da Leitmaxime der FE-Tätigkeit die Bereitstellung vor allem solcher Kenntnisse sein muß, die im Rahmen des jeweiligen Unternehmenszwecks vorteilhaft verwertet werden können.¹⁾ Mit der strategischen Gesamtplanung eines Unternehmens muß ein Rahmen derart geschaffen werden, daß für Programm- und Ablaufplanung²⁾ Zielvorgaben ermöglicht werden, welche mit den obersten Unternehmenszielen konform gehen und diese weitgehend unterstützen. Die Aufgabe der Erstellung einer solchen richtungsgebenden Strategie obliegt den obersten Führungsgremien eines Unternehmens, da für die Erstellung eines solchen Planes die Mitwirkung aller Bereiche notwendig ist.³⁾

Die strategische Rahmenplanung hat zusammen mit weiteren Faktoren wie der Verfügbarkeit liquider Mittel, FE-Ausgaben von Konkurrenten, personelle Führungsstruktur, Marktstruktur sowie auch der erwarteten Ergebnisse direkten Einfluß auf die FE-Budgetplanung.⁴⁾ Im projektorientierten Ansatz wird durch die Auswahl der FE-Projekte *uno actu* auch das Gesamtbudget umrissen, ohne daß damit jedoch das Budget

-
- 1) Vgl. Day, C.A.: Developing Research Objectives, in: Blood, Jerome W. (Hrsg.): The Management of Scientific Talent, New York 1963, S.52.
 - 2) s. zur Programmplanung der FE: Brockhoff, Klaus: Forschung und Entwicklung, Programmplanung für die, in: HW Prod., Sp.652-671; und zur Ablaufplanung der FE: Steck, Rudolf: Forschung und Entwicklung, Ablaufplanung für die, in: HW Prod., Sp.642-652.
 - 3) Vgl. Redmond, John C., a.a.O., S.181; Oxley, Norman: The Problem of Research Evaluation, in: Financial Executive, Vol.29, 1961, S.79; Pons, Alain: Research Management, in: Cetron, Marvin J. und Joel D.Goldhar (Hrsg.): The Science of Management Organized Technology, New York - London - Paris 1970, S.54f; Quinn, James Brian: Top Management Guides for Research Planning, in: Bright, James R. (Hrsg.): Technological Planning on the Corporate Level, Boston 1962, S.169f; Fuhrmann, Ernst: Leitlinien und Erfolgskriterien für die technische Forschung und Entwicklung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.691; Gasser, Christian: Die Integration von Forschung und Entwicklung als Aufgabe der Unternehmensführung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.501.
 - 4) Vgl. Horowitz, Ira: Regression Models for Company Expenditures on and Returns from Research and Development, in: IRE, Vol.EM-7, 1960, S.9.

mit Sicherheit bestimmt werden kann. Die Unvorhersehbarkeit des einzelnen Projekterfolges sowie die Unsicherheiten in der Projektbewertung im Sinne der Kosten- und Ertragsprognose machen die Einhaltung der in der Planung erstellten Budgetdaten in den meisten Fällen unmöglich. Da finanzielle und sachliche Mittel für FE nicht in unbegrenzter Höhe zur Verfügung stehen, muß aus der Zahl aller potentiell durchführbaren Projekte eine Auswahl getroffen werden. Es besteht dabei ein Allokationsproblem derart, daß die begrenzte Summe der zur Verfügung stehenden Ressourcen auf die vorgeschlagenen Projekte verteilt werden muß, wobei die Gesamtanforderungen aller Projekte den Fundus an einsetzbaren Ressourcen oftmals übersteigt.¹⁾ Die Knappheit der Produktionsfaktoren zwingt dann dazu, die Projekte nach dem ökonomischen Nutzen zu bewerten und die vorteilhaftesten auszuwählen. In diesem Stadium Fehlschläge zu vermeiden, hilft der Einhaltung des Budgetplanes, da ein Abbrechen eines Projektes umso kostenintensiver wird, je weiter es fortgeschritten ist.²⁾ Der Bedeutung der in der Programmplanung vorzunehmenden Projektauswahl entsprechend, wurden in Theorie und Praxis eine Fülle von entweder allgemein formulierten oder auf die spezifischen Probleme eines Unternehmens zugeschnittene Projektbewertungsmodelle entwickelt.³⁾ Alle bisher vorgeschlagenen Modelle unterliegen

-
- 1) Vgl. Rubenstein, Albert H.: Economic Evaluation of Research and Development: A Brief Survey of Theory and Practice, in: JIE, Vol. 17, 1967, S.617; Gresser, Klaus: Methodische Ansätze zur Lösung des Problems der optimalen Verteilung von Ressourcen auf FE-Projekte, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.225f.
 - 2) Vgl. Weinberger, A.J.: Economic Evaluation of R + D-Projects, Part I, in: Chemical Engineering, Vol. 70, 1963, S.125; Rubenstein, Albert H.: Studies of Project Selection Behaviour in Industry, in: Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, a.a.O., S.190.
 - 3) Zur Beschreibung und Diskussion der wichtigsten Verfahren s.u.a.: Baker, Norman R., a.a.O., S.165-171; Baker, Norman R. und James Freeland: Recent Advances in R + D Benefit Measurement and Project Selection Methods, in: MS, Vol. 21, 1975, S.1164-1175; Baker, Norman R. und W.H.Pound: R + D Project Selection: Where We Stand, in: IEEE, Vol. EM-11, 1964, S.123-134;

Beschränkungen, welche ihrer allgemeinen Anwendungsfähigkeit entgegenstehen. So werden in den meisten Modellen Unsicherheit und Risiko nicht in einer Weise eingebaut, daß die stochastische Natur von FE-Aktivitäten hinlänglich berücksichtigt wird. Daneben tritt die oft mangelnde Einbeziehung der gegenseitigen Abhängigkeit einzelner Beurteilungskriterien oder ganzer Projekte, bei denen Verbunde sowohl in Beziehung auf die Nutzung der Ressourcen, als auch in ihrem Beitrag zur Zielerreichung bestehen können. Auch fehlt ein expliziter Ausweis und Einbau von Erfahrung und Wissenstand der FE-Tätigen. Nicht-monetäre Effekte der Projektwahl werden zumeist gar nicht erfaßt. Die Datenanforderungen bei vielen Modellen sind so hoch, daß sie zum Zeitpunkt der Projektwahl nicht erfüllt werden können. Zudem ist das Informationssystem eines Unternehmens oft nicht in

Cetron, M.J.; J.Martino und L.Roepcke: The Selction of R + D Programm Content - Survey of Quantitative Methods, in: IEEE, Vol. EM-14, 1967, S.4-13; Coenen, Reinhard und Lothar Czayka: Beschreibung und Diskussion einiger typischer Verfahren zur Bewertung forschungspolitischer Alternativen, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.78-96; Czayka, Lothar: Prinzipielle Probleme der Bewertung forschungspolitischer Alternativen, in: Paschen Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.69-77; Dean, Burton V. and M.J.Nishry: Scoring and Profitability Models for Evaluation and Selecting Engineering Projects, in: Operations Research, Vol.13, No.4, 1965, S.550-569; Dubach, Paul: Ein Modell für höhere Effizienz in Forschung und Entwicklung, in: IO, 46.Jg., 1977, S.483-487; Gander, Karl Friedrich: So steigern wir den Forschungs- und Entwicklungserfolg, in: IO, 48.Jg., 1979, S.171-173; Moore, John R. und Norman R.Baker: Computational Analysis of Scoring Models for R + D Project Selction, in: MS, Vol.16, 1969, S.B212-B232; Souder, William E.: Utility and Perceived Acceptability of R + D Project Selection Models, in: MS, Vol.19, 1973, S.1384-1394; ders.: Achieving Organizational Consensus with Respect to R + D Project Selection Criteria, in: MS. Vol.21, 1975, S.669-681; Augood, Derek R.: A Review of R + D Evaluation Methods, in: IEEE, Vol. EM-20, 1973, S.114-120; Quinn, James Brian: How to Evaluate Research Output, in: HBR, Vol.38., H.2, 1960, S.69-80; ders.: Yardsticks for Industrial Research, New York 1960; Pound, W.J.: Research Project Selection-Testing a Model in the Field, in: IEEE, Vol.EM-11, 1964, S.16-22; Weinberger, A.J., a.a.O., S.123-126; Dean, Burton V.: A Research Laboratory Performance Model, in: IEEE, Vol. EM-14, 1967, S.44-46.

der Lage, die geforderten Daten zum Zeitpunkt der Projektbewertung bereitzustellen. Da FE-Entscheidungen als dynamischer Prozeß zu verstehen sind, können sich Datenanforderungen und Bewertungskriterien im Zeitablauf auch durchaus verändern. Nicht zuletzt scheitert die praktische Anwendung vieler Modelle oft auch daran, daß diese von den FE-Managern als zu komplex für die praktische Anwendung angesehen werden.¹⁾

Kontrolle im FE-Bereich industrieller Unternehmungen beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Erfolgspotentialanalyse einzelner Projekte. Auch der Verlauf der einzelnen Forschungsvorhaben muß einer ständigen Prüfung unterzogen werden. Hierzu wurde eine Reihe von Ablaufkontrollverfahren entwickelt, die im Bereich der Netzplantechnik angesiedelt sind. Unter Einbeziehung der FE-spezifischen Unsicherheitsprobleme werden bei diesen Methoden mittels des Vergleichs von geplanten und tatsächlich beanspruchten Zeit- und Kostengrößen die einzelnen Phasen des Projektfortschritts bewertet und je nach Effizienz des Vorgehens sequentielle Entscheidungen getroffen.²⁾

-
- 1) Vgl. Rubenstein, Albert H.: Economic Evaluation of Research and Development: A Brief Survey of Theory and Practice, a.a.O., S.617; Baker, Norman R. und James Freeland, a.a.O., S.1165.
 - 2) Zu den Verfahren der Netzplantechnik in FE s.u.a.: Czayka, Lothar: Die Netzplantechnik als Instrument der Planung und Kontrolle von FE-Projekten, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.211-224; Pritsker, A.A.B. und W.W.Happ: GERT, Part, I., Fundamentals, in: Journal of Industrial Engineering, Vol.17, 1966, S.D267-D274; Johnson, Jacob und Jack Moshman: RAMPS - A Technique for Resource Allocation and Multi-Project Scheduling, in: Cetron, Marvin J. und Joel D. Goldhar (Hrsg.), a.a.O., S.1429-1449; Miller, R.W.: How to Plan and Control with PERT, in: HBR, Vol.40, H.2, 1962, S.83-104; Roman, Daniel D.: The PERT System: An Appraisal of Progrm Evaluation Review Technique, in: Cetron, Marvin J. und Joel A.Goldhard (Hrsg.), a.a.O., S.1417-1427; Ashley, William F. und Milton T. Austin: Case Studies Network Planning, Scheduling and Control of Research and Development Projects, in: Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, a.a.O., S.264-285; Malcolm, Donald G.: Integrated Research and Development Management System, in: Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, a.a.O., S.124-128.

Eine weitere wichtige Kontrolle der FE-Tätigkeiten ist auf der Ebene der Unternehmensleitung anzusiedeln. Die Einsatzdichte der Produktionsfaktoren und in deren Folge auch der potentielle Aufwand im FE-Bereich sind nahezu unbegrenzt, da für ein Unternehmen Kenntnisse auf praktisch jedem naturwissenschaftlich technischen Gebiet von Nutzen sein können. Darf aber das Gebot der Wirtschaftlichkeit auch in diesem Unternehmensbereich nie übersehen werden, muß die Schwelle gesucht werden, ab der weitere FE-Aufwendungen nicht mehr die erwünschten Beiträge zum Unternehmensziel liefern.¹⁾

Soll eine derartige globale Effizienzkontrolle durchgeführt werden, ist die Bestimmung einer validen Größe für die Messung des FE-Beitrages zum Unternehmensziel unerläßlich.²⁾

Die Maßstäbe für eine derartige Leistungsmessung können nicht allein innerhalb der FE-Abteilungen gefunden werden, da Schlüsselfaktoren des FE-Erfolges nicht alleine das technologische Wissen, sondern auch dessen wirtschaftliche Verwertbarkeit ist. In diesem Sinne ist neben dem reinen technologischen Output auch der ökonomische Wert der Technologie und deren Beitrag zur Erreichung des Unternehmensziels in die Überlegungen einzubeziehen.³⁾

Effiziente Planung und Kontrolle alleine sind keine Garantien erfolgreicher FE. Neben diesen Management-Tätigkeiten müssen auch Organisation und Führung auf die spezifischen Belange industrieller FE zugeschnitten sein. Der Forscher in einem Industrieunternehmen arbeitet nicht zweckfrei in einem von ökonomischen Kalkülen freien Vakuum, vielmehr muß er sich, zumindest zu einem gewissen Teil, den Gesetzen der Wirtschaftlichkeit unterwerfen. Ihm werden bestimmte, wenn auch oft weit gefächerte Ziele sowie begrenzte Ressourcen und Zeit vorgegeben.⁴⁾ Wenn auch das Postulat einer

1) Vgl. Fuhrmann, Ernst, a.a.O., S.590.

2) Vgl. Seiler, Robert E., a.a.O., S.187.

3) Vgl. Quinn, James Brian: How to Evaluate Research Output, a.a.O., S.70.

4) Vgl. Pons, Alain, a.a.O., S.53f; Isenson, R.S.: Allowed Degrees and Type of Intellectual Freedom in Research and Development, in: IEEE, Vol.EM-12, 1965, S.113.

angemessenen Effizienz oberstes Gebot bei der Ausgestaltung aller Unternehmenstätigkeiten ist, muß das Management Organisation und Führungsstil an die speziellen Anforderungen, welche die Charakteristika industrieller FE mit sich bringen, in einer Weise anpassen, die über das hinausgeht, was für andere Bereiche des Unternehmens nötig ist. Schöpferische Tätigkeit braucht einen Freiheitsbereich, der im Rahmen der organisatorischen Gestaltung des FE-Sektors und auch bei der organisatorischen Einbindung in das Gesamtunternehmen zu berücksichtigen ist. Gleichzeitig muß trotzdem eine Kontrolle ermöglicht werden, ob die Leistungen der FE-Abteilung auch tatsächlich der Unternehmenszielsetzung dienen und in welchem Maße sie das tun. Das vollkommen durchorganisierte FE-Labor ist sicherlich genauso wenig produktiv, wie die völlig vom Unternehmen und seinen Zielsetzungen losgelöste Forschungseinrichtung. Hier einen Mittelweg zwischen Freiheit und organisatorischer Einbindung zu finden, ist Aufgabe des Managements, wobei ein Führungsstil implementiert werden muß, der anregend auf die Kreativität des Forschungspersonal wirkt. Zwischen wissenschaftlichen Zielen von Forschern und Unternehmenszielen treten häufig Divergenzen auf,¹⁾ deren autoritative Bewältigung keine Lösung darstellt. Vielmehr hat sich in der Praxis die Erkenntnis durchgesetzt, daß ein Eingehen auf die spezifischen Belange von Forschern z.B. durch Vorgabe von freien Zeiten zur Durchführung von Projekten, die im Eigeninteresse des jeweiligen Forschers liegen, ein innovationsträchtigeres Klima geschaffen werden kann.²⁾ Organisatorische Vorkehrungen müssen in Verbindung mit einem angemessenen Führungsstil dafür sorgen, daß das FE-Personal sowohl die unternehmensexternen technologischen und technischen Entwicklungen verarbeitet, zugleich aber auch durch eine angemessene interne Kooperation die wirtschaftliche Verwertbarkeit der Arbeiten im Unternehmen gesichert wird. Die organisatorische Gestaltung muß einen Informationsfluß

-
- 1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Forschung und Entwicklung, Planung und Organisation von, a.a.O., Sp.1539.
2) Vgl. Gander, Karl Friedrich, a.a.O., S.173.

derart erlauben, daß wichtige Veränderungen in der Außenwelt wahrgenommen und verarbeitet werden können und zugleich entsprechende Kanäle auch den internen Fluß von Informationen von der FE-Abteilung z.B. zur Produktions- oder Absatzabteilung sichern.¹⁾ So berichtet Rubenstein von FE-Fehlschlägen, die letztlich nur auf nicht ausreichendem Informationsniveau oder unangemessenem Transfer von wichtigen Informationen beruhten.²⁾

Wie obige Ausführungen zeigen, sind mit Hilfe geeigneter Instrumentarien die allgemeinen Managementfunktionen auf die Besonderheiten des FE-Bereiches zuzuschneiden. Um dies nicht willkürlich geschehen zu lassen, wurde eine Fülle verschiedener Untersuchungen zur analytischen Durchdringung des FE-Bereichs mit dem gemeinsamen Ziel der Vorgabe von Anhaltspunkten für ein geeignetes FE-Management durchgeführt. Im Vordergrund einer derartigen Untersuchung müssen Fragen der Effizienzbeurteilung von FE stehen. Nur von dort her können Aufschlüsse zur Managementgestaltung industrieller FE kommen.

-
- 1) Vgl. Ansoff, Igor H. und John M. Stewart: Strategies for a Technology-based Business, in: HBR, Vol.45, H.6, 1967, S.71-83.
 - 2) Vgl. Rubenstein, Albert H.: Setting Criteria for R + D, a.a.O., S.99.

2 FORSCHUNGSERFOLG, ERFOLGSMAßSTÄBE UND EFFIZIENZ
 INDUSTRIELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

2 1 Die Notwendigkeit der Erfolgsbewertung
 industrieller Forschungs- und Entwicklungs-
 Bewertungsanlässe und Bewertungsziele

Zwei Aspekte der Bewertung des Forschungserfolges lassen sich unterscheiden. Zum einen ist dies, wie oben ausgeführt, die Messung des Erfolgs einzelner Forschungsprojekte, zum anderen die Ermittlung der Effizienz einer FE-Abteilung. Schlüsselposition für das Management hat in diesem Kontext die Betrachtung der FE-Aktivitäten insgesamt, da für die strategische Planung eines Unternehmens nicht einzelne Projekte Objekte der Entscheidungsfindung sein können. Vielmehr ist im Rahmen der im vorigen Kapitel aufgeführten Managementfunktionen unter Berücksichtigung der überragenden Bedeutung von FE für Sicherung und Wachstum industrieller Unternehmen die gesamtunternehmensbezogene Abstimmung aller Gestaltungsinstrumentarien auf einen sich beschleunigenden technischen Wandel notwendig.

Projektvorschläge aus untergeordneten Ebenen einer Unternehmenshierarchie mögen aus der Sicht eines Vorschlagenden vorteilhaft erscheinen, beinhalten aber oftmals nicht alle Aspekte, die bei der etwaigen Durchführung eines Projektes im Hinblick auf Wirkungen auf andere Unternehmensbereiche oder auch auf das Gesamtunternehmen auftreten. So wird beispielsweise ein Produktionsmanager auf mittlerer Ebene bei einem Vorschlag für eine Produktionsverfahrensänderung in seinem Vorteilhaftigkeitskalkül die Auswirkungen der veränderten Produktionstechnik auf Anforderungen im FE- oder Marketingbereich kaum eingerechnet haben. Vorstellbar ist sogar der Fall, daß im Rahmen der Langzeitstrategie Desinvestitionen bzw. Verringerungen im Investitionsprogramm einer Abteilung geplant sind. Derartige Vorhaben sind im Planungsstadium zwar der Unternehmensleitung, kaum aber dem ausführenden mittleren Management bekannt.

Die Sammlung von Projekten von unten nach oben hat zwar Vorteile durch den unmittelbaren Bezug zu abteilungsspezifischen Bedürfnissen, eine sinnvolle Zusammenstellung aller

Vorhaben muß aber aus dem Blickwinkel der strategischen Gesamtplanung erfolgen, da nur in deren Rahmen die verschiedensten Kriterien Eingang finden, welche auf die Erfüllung oberster Unternehmensziele wirken.¹⁾

Für die Unternehmensleitung folgt daraus in bezug auf die FE unmittelbar die Notwendigkeit, sich dem komplexen Problem durch ein besonderes Technologiemanagement zu stellen, dessen Augenmerk gerichtet sein muß auf:

- "(1) die Abstimmung der Forschungs- und Entwicklungsplanung mit der strategischen Unternehmensplanung;
- (2) die Umsetzung der strategischen Forschungs- und Entwicklungsplanung in eine operative Planung;
- (3) die Entwicklung eines Organisationskonzepts für Forschung und Entwicklung, das Entwicklungsverlauf und -funktionen effizient gerecht wird, ausreichend flexibel hinsichtlich neuer Aufgaben und dem Abschluß alter Aufgaben ist, sowie den Ergebnistransfer erleichtert;
- (4) die zweckmäßige Definition, Messung und Überwachung der Forschungs- und Entwicklungsproduktivität."²⁾

Besonders die zuletzt genannte Funktion des speziellen Technologiemanagements verdient Beachtung. Ohne Feststellung des FE-Erfolges, d.h. ohne Kenntnis des FE-Beitrages zum Unternehmensziel, ist keine sinnvolle Kapitalsteuerung innerhalb des Unternehmens und innerhalb des FE-Bereichs möglich.³⁾ Das Management eines Unternehmens ist daran interessiert, zu erfahren, ob FE-Investitionen überhaupt wirtschaftlich sind, wie sie im Vergleich zu anderen Investitionsmöglichkeiten abschneiden und ob die FE-Tätigkeit effizient ausgeführt wird.⁴⁾ Theoretisch betrachtet, erscheint die Wirtschaftlichkeitsanalyse einer FE-Abteilung unproblematisch, da sich FE-Ausgaben dann lohnen, wenn die

1) Vgl. Tilles, Seymour: Strategies for Allocating Funds, in: HBR, Vol.44, H.1, 1966, S.73.

2) Brockhoff, Klaus: Controlling in Forschung und Entwicklung der Unternehmen, in: ZfbF, 36.Jg., 1984, S.610

3) Vgl. Kuhn, Alfred: Erfolgsmaßstäbe in Forschung und Entwicklung, in: Neue Betriebswirtschaft, 22.Jg., 1969, S.1

4) Vgl. Hacket, James W.: Evaluating the Results of Research, in: Bright, James R. (Hrsg.), a.a.O., S.227f.

aus den FE-Aktivitäten resultierenden schon erzielten und noch erwarteten (abdiskontierten) Erträge die Aufwendungen (schon getätigt oder erwartet und dementsprechend abdiskontiert) übersteigen.¹⁾ Im Vergleich zu anderen Investitionsobjekten wäre zu ermitteln, ab die FE-Aufwendungen ein Ergebnis mindestens in der Höhe erbringen wie sie die nächst günstigste Verwendung der Investitionsmittel bei einer alternativen Verwendung mit sich brächte.

Die Untersuchung der Effizienz industrieller FE-Tätigkeiten kann sich gemäß der verschiedenen Bedeutungen, die diesem Begriff zugeordnet werden, erstrecken auf:

- Kennzeichnung des Ausmaßes der Zielerreichung; auch Kennzeichnung des Ergebnisses von Soll-Ist-Vergleichen.
- Kennzeichnung von Input-Output-Verhältnissen in der Bedeutung von Produktivität oder Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf das Verhältnis von Input und zieladäquatem Output.²⁾

Gzuk versteht unter Effizienz das Ausmaß der Zweckerreichung einer Entscheidung. Zwei Nebenbedingungen sollten bei ihrer Beurteilung nicht außer Acht gelassen werden:

"Die Zweckerreichung ist mit einem Mindestmaß an Wirtschaftlichkeit des Ressourceneinsatzes zu erzielen, und sie soll nicht nur vorläufiger Natur sein, sondern Aussicht auf längerfristigen Bestand durch entscheidungsbegleitende Vorsorgemaßnahmen für eine adäquate Realisation der Problemlösung versprechen."³⁾

Für die FE-Effizienzmessung anhand von Produktivitätskennzahlen muß sowohl der Input als auch der Output der FE-Abteilung in geeigneter Weise quantifiziert werden. Nur dann

-
- 1) Vgl. Horowitz, Ira: Evaluation of the Results of Research and Development, in: IEEE, Vol. EM-10, 1963, S.42; Rubenstein, Albert H.: Economic Evaluation of Research and Development: A Brief Survey of Theory and Practice, a.a.O., S.617; Broschwitz, Johannes, Forschung und Entwicklung als Rentabilitäts- und Konzentrationsdeterminante, in: BB, 21.Jg., 1968, S.1915.
 - 2) Vgl. Gzuk, Roland: Messung der Effizienz von Entscheidungen, Tübingen 1975, S.14f.
 - 3) Gzuk, Roland, a.a.O., S.15.

lassen sich Aussagen über den Erfolg der FE-Aktivitäten machen. Diese Gesamtevaluation ist aber konstituierende Voraussetzung nicht nur für eine sinnvolle FE-Planung, sondern auch für eine zieladäquate Bestimmung des FE-Budgets und zur Ableitung geeigneter formaler Organisationsstrukturen der FE-Abteilung.¹⁾

Unternehmensinterne und -externe Umstände sind Anlaß für eine solche Gesamtevaluation der FE-Aktivitäten. Unternehmensinterne Anlässe können u.a. die Forderung nach signifikanter Erhöhung des FE-Budgets, ein bedeutender Fehlschlag im FE-Bereich, eine FE-interne oder gesamtunternehmensbezogene Umorganisation oder auch die personelle Umgestaltung des FE-Managements sein. Bedarf für eine Gesamtbeurteilung besteht auch im Rahmen der routinemäßig durchzuführenden Kontroll- und Planungstätigkeiten.

Unternehmensextern ist der Anlaß für eine Gesamtbewertung z.B. gegeben, wenn sich ein Unternehmen an einem anderen beteiligen will und FE bei dem Beteiligungsunternehmen eine gewichtige Rolle spielt. Ein Unternehmen, welches auf der Suche nach einer erfolgsversprechenden Beteiligung ist, steht gerade bei der Bewertung der FE-Abteilung vor einem Dilemma. Zum einen ist die wirtschaftliche Bedeutung der FE für Sicherung und Wachstum eines Unternehmens besonders in einer FE-intensiven Branche evident, zum anderen werfen aber Bewertung und Auswahl beteiligungszielkonformer Alternativen, nicht zuletzt wegen des unsicheren und risikoreichen Charakters der FE, Meß- und Schätzprobleme auf, die den Aussagegehalt einer solchen Bewertung erheblich beeinträchtigen können.

So ist die exakte Trennung des Anteils, welchen die FE-Abteilung zum Gesamterfolg eines Unternehmens, gemessen z.B. anhand einer Periodengewinn-Größe, beiträgt, eine dieser Schwierigkeiten. Auf seinem Weg zur Marktreife hat ein Produkt viele Abteilungen, neben FE z.B. Produktion und Vertrieb, zu durchlaufen, wobei unmöglich mit Sicherheit festzulegen ist, welcher Teil des Gewinns aus dem neuen

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Ein Ansatz zur Abschätzung des Forschungserfolges, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.709.

Produkt jeder einzelnen der Unternehmensabteilungen zuzurechnen ist. Sollen Input- und Outputgrößen zu einer Effizienzbeurteilung herangezogen werden, ist auch auf die Zeitverzögerung zu achten, die zwischen der Aufnahme von Forschungsaktivitäten und dem endgültigen Verkauf des fertigen Produktes am Markt besteht. Aktuelle Erträge aus dem Verkauf neuer Produkte können aus FE resultieren, die schon vor Jahren durchgeführt wurde. Dieser möglichen Zeitverzögerung ist bei der Verknüpfung von Einnahme- und Ausgabe-größen Rechnung zu tragen. Der zufallsbedingte Charakter der FE verbietet eine an Kalendertage fixierte kurzfristige Erfolgsbetrachtung. Jahrelang erfolglos betriebene FE kann durch eine Zufallsentdeckung in relativ kurzer Zeit zu erfolgreichen Produkten führen, wobei diese Zufallsentdeckung auch außerhalb des Bereichs der geplanten FE-Ergebnisse liegen kann.¹⁾

Eine weitere Frage ist, inwieweit in der Erfolgsanalyse berücksichtigt werden soll, daß neue Produkte und Verfahren die alten, bestehenden ersetzen können und bei diesen Erfolgseinbußen auslösen. Sollen diese umgerechnet werden, müssen Vermutungen über den Erfolg der alten Produkte unter der Annahme getroffen werden, daß keine Neuerungen eingeführt worden wären.

Zusätzlich besteht ein Problem in der Behandlung von Opportunitätskosten. Die Mittel für FE hätten u.U. auch an anderer Stelle eingesetzt werden können. Für einen Vorteilhaftigkeitsvergleich der verschiedenen Investmentalternativen muß der Gewinn aus der tatsächlichen mit der potentiellen Mittelverwendung verglichen werden. Die Notwendigkeit einer Evaluation auf langfristiger Basis wirft das Problem der zeitlichen Begrenzung auf. Produkte mit ausgedehntem Lebenszyklus können auch nach Jahrzehnten positive Beiträge zum Unternehmenserfolg liefern. Man kann aber mit der Effizienzanalyse nicht warten, bis alle Produkte nach der Degenerationsphase aus dem Markt ausgeschieden sind, um dann alle aus diesen Produkten resultierenden Zahlungsströme genau verrechnen zu können.

1) Vgl. Seiler, Robert E., a.a.O., S.187ff.

2 2 Anforderungen an ein System zur Erfolgsbewertung
industrieller Forschung und Entwicklung

Eine Gesamtbeurteilungsmethode für industrielle FE hat aufgrund oben erwähnter Schwierigkeiten verschiedenen Aspekten Rechnung zu tragen. So müssen zunächst geeignete Erfolgskriterien für FE als Bezugspunkt für die Effizienzbetrachtung gefunden werden, welche die Implementation einer für das Management verständlichen Arbeitsmethode erlaubt, die auch in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden kann und auf einer langfristigen Basis möglichst sämtliche FE-Aktivitäten erfaßt.¹⁾ Ein Beurteilungssystem muß zuverlässige Aussagen darüber erlauben, ob eine FE-Abteilung erfolgreich ist und wie erfolgreich sie ist. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse können korrigierende Maßnahmen ergriffen und zukünftige Mißerfolge vermieden werden. Damit wird deutlich, daß ein solches Beurteilungssystem besonders zwei zwar sehr ähnlichen, aber dennoch scharf zu trennenden Aufgaben des FE-Managements dienen muß. Zum einen ist dies eine ggf. auch kurzfristig das Verhalten beeinflussende laufende Kontrolle des gesamten FE-Ablaufs. Zum anderen muß auch eine Überprüfung ex post ermöglicht werden, durch welche die tatsächlichen FE-Ergebnisse mit den geplanten bzw. erwarteten verglichen werden und so ein Zielerreichungsgrad ermittelt werden kann, welcher die Grundlage für eine eher langfristige Ausrichtung zukünftiger Aktivitäten bildet.²⁾ Idealerweise müßte ein Effizienzbeurteilungssystem derart beschaffen sein, daß sowohl der Wert der FE-Tätigkeiten ermittelt werden kann, gleichzeitig aber auch eine regelmäßige Kontrolle der gesamten FE-Aktivitäten ermöglicht wird, auf deren Ergebnissen aufbauend auch in kürzeren Zeitabständen Maßnahmen zur Optimierung des Technologiemanagements ergriffen werden

1) Vgl. Seiler, Robert E., a.a.O., S.189; Hacket, James W., a.a.O., S.233f.

2) Vgl. Rubenstein, Albert H.: Setting Criteria for R+D, a.a.O., S.96.

können. Ein großes Bewertungsproblem besteht nun darin, daß der Prozeß der Gewinnung technisch-naturwissenschaftlicher Kenntnisse gänzlich verschieden ist von den Ergebnissen, gemäß derer er bewertet wird.

Zwei Aspekte bestimmen die Ergebnisse industrieller FE. Zum einen ist dies die Informationsmenge und zum anderen das Informationsniveau, welches als Ausfluß der FE-Aktivität entsteht. Diese Ergebnisse sind nur qualitativ zu erfassen und stellen im Rahmen industrieller FE nur einen Zwischenschritt auf dem Weg zum kommerziellen Erfolg von Neuerungen dar.

Erstreckt sich das FE-Ergebnis auf die Verbesserung eines Fertigungsverfahrens, kann eine Bewertung durch Gegenüberstellung der Kosten und der durch die Anwendung des neuen Verfahrens in einem bestimmten Zeitraum anfallenden Einsparungen erfolgen. Sind die Einsparungen größer als die Kosten, läßt sich der ökonomische Erfolg des FE-Ergebnisses unmittelbar messen. Das Ergebnis der FE stellt sich aber im größten Teil der Fälle nur als Erweiterung der Wissensbasis dar. Da Ziel industrieller FE aber die Schaffung von Kenntnissen ist, die auch irgendwann im Zeitablauf einer ökonomischen Nutzung unterzogen werden können, diese Nutzung sich aber über einen längeren Zeitraum und zahlreiche Nutzungsmöglichkeiten erstrecken kann, ist eine wertmäßige Erfassung der Informationszunahme mit vielfältigen Schwierigkeiten behaftet,¹⁾ die auch daher resultieren können, daß der Erfolg in FE zwar maßgeblich von der Qualität der gefundenen Kenntnisse in der FE-Abteilung abhängt, zugleich aber auch von der Tätigkeit und Bereitschaft der anderen Unternehmensabteilungen, diese neuen Kenntnisse zu nutzen und anzuwenden.

Die FE-Abteilung muß genau wie alle anderen Abteilungen eines privatwirtschaftlich organisierten Unternehmens gemäß den Anforderungen des Wirtschaftlichkeitsprinzips ausge-

1) Vgl. Collinson, H.A., a.a.O., S.135.

staltet und gelenkt werden. Das Management eines solchen Unternehmens muß daher besonders an einer Wertbestimmung anhand quantitativer Erfolgsgrößen Interesse haben. Gleichzeitig besteht aber der unmittelbare Output einer FE-Abteilung aus Informationen und Wissenszuwächsen, deren wirtschaftliche Bedeutung zunächst nicht abzuschätzen ist.¹⁾ Die Notwendigkeit, FE-Tätigkeiten regelmäßig zu bewerten, gleichzeitig aber auch im Rahmen von Kontrollen kurzfristige Anpassungsmaßnahmen durchzuführen, zusammen mit den Problemen bei der Bewertung industrieller FE haben in der Praxis zur Entwicklung einer Reihe von Kontroll- und Wertbestimmungsmaßstäben geführt, die jedoch alle mit Schwächen behaftet sind und dementsprechend nur Kompromißlösungen darstellen können. Im Folgenden werden diese Ansätze vorgestellt und ihre Aussagekraft und Verwendungsfähigkeit im Lichte der seitens des Forschungsmanagements an sie zu stellenden Anforderungen diskutiert.

2 3 Traditionelle Methoden zur Effizienzermittlung industrieller Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche - Darstellung und Kritik

2 3 1 Überblick

Die Bestimmung des Erfolgs industrieller FE ist ein unumgängliches Unterfangen, soll die Erfüllung der Managementaufgaben im FE-Bereich auf rationaler Basis erfolgen. Die gestiegene Bedeutung industrieller FE im Rahmen der unternehmerischen Zielerfüllung sowie die Erkenntnis, daß Ressourcenallokation und organisationsbezogene Gestaltungsmaßnahmen planvoll zur Steigerung der Forschungseffizienz eingesetzt werden können, haben zu einer Fülle von theoretischen und empirischen Untersuchungen geführt, deren gemeinsames Ziel das Auffinden von Wertbestimmungsmaßstäben und -verfahren ist.

Trotz z.T. umfangreicher Untersuchungen und einiger vielversprechender Ansätze gibt es noch kein allgemein gültiges

1) Vgl. Rubenstein, Albert H.: Setting Criteria for R+D, a.a.O., S.97

und anerkanntes Verfahren zur Erfolgsbestimmung industrieller FE. Waren frühe Untersuchungen darauf gerichtet, zunächst zu ermitteln, ob überhaupt ein Zusammenhang zwischen einzelnen Input- und Outputgrößen existiert,¹⁾ sind später komplexere Bewertungsmodelle in großer Zahl vorgeschlagen worden. Diese beziehen sich aber, wie z.B. die Arbeiten von Griliches²⁾ über die Erträge aus Züchtung von Maishybriden, auf die gesamtwirtschaftliche Ebene oder sind auf die speziellen Belange einer bestimmten Forschungsorganisation zugeschnitten³⁾ und kaum allgemein erprobt.⁴⁾ Verfahrens-

-
- 1) s.u.a. die Untersuchungen von: Terleckyj, N.E.: Sources of Productivity Advance: A Pilot Study of Manufacturing Industries 1899-1953, Diss.Columbia University, New York N.Y. 1960; Minasian, Jora R.: Research and Development, Production Functions and Rates of Return, in: AER, Papers and Proceedings, Vol.59, 1969, S.80-85 u. ders.: The Economics of Research and Development, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.93-141; Brozen, Yale: The Future of Industrial Research, in: JoB, Vol.34, 1961, S.434-441; Lazercik, G.: Scientific Research, Earnings and Stock Prices, in: Financial Analysts Journal, Vol.18, 1962, S.49-53; Grabowski, H.: The Determinants of Industrial Research and Development, Diss.Princeton 1966; Brockhoff, Klaus: Forschungsaufwendungen industrieller Unternehmen, in: ZfB, 34.Jg., 1964, S.327-348 u. ders.: Zur Quantifizierung der Produktivität industrieller Forschung durch die Schätzung einer einzelwirtschaftlichen Produktionsfunktion - Erste Ergebnisse, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Bd.184, 1970, S.248-276
 - 2) s.Griliches, Zvi: Forschungskosten und gesamtwirtschaftliche Erträge: Maishybriden und verwandte Innovationen, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.215-233
 - 3) s.u.a. die Verfahrensvorschläge bei: Lipetz, Ben-Ami: The Measurement of Efficiency of Scientific Research, Carlisle, Mass. 1965; Engles, E.F.: Evaluating a Company's Research Program, in: RM, Vol.10, 1967, S.147-156; Gee, R.E.: The Opportunity Criterion - A New Approach to the Evaluation of R+D, in: RM, Vol.15, 1972, S.64-71; Birnbaum, Philip H.: Assessment of Alternative Management Forms in Academic Interdisciplinary Research Projects, in: MS. Vol.24, 1977, S.272-284; Fujimura, Toshikazu: Control System and Indices for Management of Research, in: RM, Vol.5, 1962, S.439-449; Nutt, A.B.: An Approach to Research and Development Effectiveness, in: IEEE, Vol.EM-12, 1965, S.103-112; Soistman, E.C.: Research and Development Can be Controlled, in: RM, Vol.9, 1966, S.15-27
 - 4) Vgl. Spiegel-Rösing, Ina S.: Messung der Forschungsleistung: Kontext der Fragestellung und Stand der For-

vorschläge zur Beurteilung der Effizienz von FE-Abteilungen reichen über eine reine Erfassung des Forschungsinputs in mengen- oder wertmäßiger Form und die ergänzende Einbeziehung des näherungsweise bestimmten Forschungsoutputs in seinen verschiedensten Formen, bis zu einer Verknüpfung von Input und Output in Produktivitätskennzahlen und schließlich Produktionsfunktionen. Weiterhin werden Nutzwertverfahren zur Erfassung auch qualitativer Aspekte, sowie investitionstheoretische Modelle und Kennzahlen verwendet.

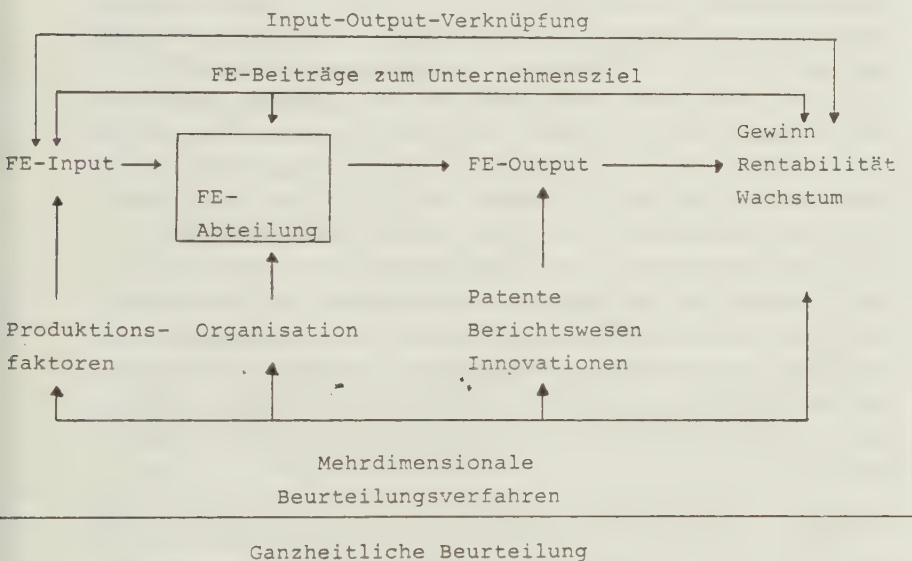


Abb. 10: Überblick traditioneller Ansätze der FE-Effizienzermittlung

schung, in: Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.): Beiträge zur Messung von Forschungsleistung, Bonn 1975, S.4

2 3 2 Inputmaße

Mangelnde praktische Möglichkeiten der Ertragsermittlung von FE auf volkswirtschaftlicher und Unbrauchbarkeit der Messungen auf betriebswirtschaftlicher Ebene veranlassen Schätzle zu der Aussage, für empirische Untersuchungen seien lediglich die Aufwendungen ein geeignetes quantitatives Maß.¹⁾ Derlei Überlegungen führen in der Praxis dazu, FE-Aufwendungen global als ein Prozentsatz am Umsatz zu bestimmen, um schließlich über einen Gewinnvergleich mit der Vergangenheit oder der Konkurrenz auf die eigene Leistungsfähigkeit des FE-Bereiches zu schließen. Dementsprechend ergaben verschiedene empirische Untersuchungen, daß ein Großteil von Unternehmen als Orientierungsgrößen für die Bemessung des Forschungsbudgets Umsatz, Gewinn (entweder erzielt oder erwartet) sowie geplanter Aufwand für laufende und neue Projekte, Aufwand von Konkurrenzunternehmen o.ä. verwendet.²⁾ Aus dieser Verknüpfung von Umsatz oder Gewinn und Forschungsaufwand wird darauf geschlossen, ob genug für die eigene FE getan wird.³⁾ Ein solches Verfahren hat sicherlich den Vorteil, daß die Daten einfach zu gewinnen und sofort verfügbar sind, besonders wenn der Produktionsfaktoreinsatz gemessen an dem Aufwand an finanziellen Mitteln für die einzelnen Faktoren wie menschliche Arbeit, Labor-einrichtungen, Gebäude und das schon erlangte Wissen gemessen wird.

Es bleibt aber die Frage, ob ein derartig wertmäßig erfaßter Produktionsfaktoreinsatz den tatsächlichen mengenmäßigen Input mißt. Produktionstheoretisch handelt es sich hier um Potentialfaktoren, die ein Bündel von Leistungen darstellen, aus denen solange Nutzungen entnommen werden kön-

-
- 1) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.124
 - 2) McGraw-Hill Dept. of Economics: Business Plans for New Plant and Equipment, 1958-61 and 1960-63, o.D., zitiert bei: Gustafson, Eric: Research and Development, New Products, and Productivity Change, in: AER, Vol.52, 1962, Bd.II, S.179
 - 3) Vgl. Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft, a.a.O., S.580.

nen, wie ihre Leistungsfähigkeit noch nicht erschöpft ist.¹⁾ Nun besteht aber keine Möglichkeit, die Leistungsabgaben dieser Faktoren, insbesondere der erfinderischen Tätigkeit, zu erfassen und zu messen. Als Faktoreinheit ließe sich höchstens das Leistungspotential je Zeiteinheit ermitteln.²⁾

Aber auch hier bestehen erhebliche Schwierigkeiten. Bei dem bedeutsamsten Produktionsfaktor in FE, der menschlichen Arbeit, entscheiden schöpferische Fähigkeiten, Erfindungsgeist und Kreativität eines Forschers über deren Qualität. Diese Attribute eines Menschen zu messen, ist ein psychologisches Problem, welches noch kaum gelöst ist. Fehlen aber solche Beurteilungsmaßstäbe, kann nicht behauptet werden, mit einer Erhöhung der Personalaufwendungen für die FE-Beschäftigten, sei es für Gehaltserhöhungen oder Neueinstellungen, würde auch der tatsächliche Input im FE-Bereich erhöht. Das könnte nur dann geschehen, wenn eine Entlohnung der Angestellten gemäß der Grenzproduktivität erfolgen könnte, bzw. wenn sich folglich unterschiedliche Faktorqualitäten im Preis dieser Faktoren ausdrücken würden.³⁾ Da dies jedoch schon wegen der aus der Heterogenität der Faktoren resultierenden Nicht-Quantifizierbarkeit unmöglich ist, kann lediglich gefolgert werden, daß zwar Ressourcen in größerem Umfang eingesetzt wurden, nicht aber, daß gemessen an einer geeigneten Skala für die FE-Kapazität, der Input an schöpferischen Fähigkeiten zugenommen hat.⁴⁾

Der Produktionsfaktoreinsatz, gemessen an den dafür aufgewendeten Geldmitteln, wird also niemals den tatsächlichen Input an Forschungskapazität messen. Neben den Bedenken, die darin bestehen, daß etwas gemessen wird, was nicht oder nur unter Vorbehalt zu messen ist, besteht aus der Sicht des Praktikers die Gefahr einer richtwertorientierten Bud-

1) Vgl. Gutenberg, Erich, a.a.O., S.326

2) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.62.

3) Vgl. Schätzle, Gerhard: Unternehmensgröße und Forschungsintensität, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.608

4) Vgl. Kuznets, Simon: Inventive Activity: Problems of Definition and Measurement, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.33

getierung auch darin, "daß die Unternehmensleitung auf zu einfache Weise ein 'ruhiges Gewissen' bezüglich der FE-Leistung gewinnt und sich nicht ausreichend um die inhaltliche Einschätzung und Berücksichtigung der FE-Funktion kümmert. Außerdem füllt die FE-Leitung den vorgegebenen Budgetrahmen immer wieder aus, ohne die strategische Berechtigung abzustimmen und ohne den tatsächlich vorhandenen Spielraum für Neues zu würdigen."¹⁾ Zudem können sich hinter konstanten Prozentsätzen, ausgedrückt etwa als fester Anteil am Umsatz oder an der Beschäftigtenzahl, stark schwankende absolute Mitteleinsätze verbergen. Stark rückläufige Geschäftstätigkeit bedingt bei starrem Festhalten an dieser Regel einen proportionalen Abbau des Ausmaßes der Forschungstätigkeit, was wiederum erhebliche negative Auswirkungen auf die Zukunft des Unternehmens haben kann. Gerade in Krisenzeiten sind verstärkt FE-Anstrengungen von Nöten, sollen über neue Produkte verlorene Märkte zurückerobert oder neue erschlossen werden.

Stark schwankende Budgets im FE-Bereich führen dann zu Friktionen, wenn in schlechten Zeiten kurzfristig Forschungspersonal entlassen wird und dessen Spezialkenntnisse für das Unternehmen für immer verloren sind. Die bei einer Normalisierung der Geschäftstätigkeit wieder neu einzustellenden Forscher können diesen Rückstand bezügl. der spezifischen Kenntnisse, die im jeweiligen Forschungsbereich erst im Laufe der Tätigkeit gewonnen werden, nur nach einer gewissen Zeit aufholen.²⁾ Allzu scharfe Friktionen im Forschungsbudget sollten daher vermieden werden. Bei einer Prozentfixierung ist dies jedoch nicht immer gewährleistet. Ein weiterer, gewichtiger Einwand ist, daß bei Verwendung solcher Inputgrößen zum einen keine Regel besteht, welcher Prozentsatz optimal ist, zum anderen aber auch eine kausale Beziehung zwischen z.B. Umsatz/Gewinn und Forschungstätigkeit nicht gegeben ist.³⁾ Genauso wie angenommen werden

-
- 1) Vgl. Sommerlatte, Tom und Manfred Wennemer: Roßkur für die Forschung, in: Manager-Magazin, 9.Jg., 1979, H.11, S.140
 - 2) Vgl. Kuhn, Alfred, a.a.O., S.2
 - 3) Vgl. Schanz, Günther: Kriterien zur Bestimmung der Größe des Forschungsbudgets in Unternehmungen der

kann, daß hohe FE-Aufwendungen hohe Gewinne mit sich bringen, ist es auch durchaus plausibel zu behaupten, hohe Gewinne brächten auch erhöhte Forschungstätigkeit mit sich.¹⁾ Dies gilt umso eher, als steuerpolitische Überlegungen eine Rolle spielen. Denn der Forschungsaufwand ist steuerlich absetzbar, so daß der Fiskus ein Teil des Forschungsrisikos trägt.²⁾ Letztendlich bleibt anzumerken, daß nicht die Höhe von Faktoreinsatz oder Forschungsaufwendungen interessiert, sondern die Effizienz deren Einsatzes. Denn diese kann mit wachsender Forschungstätigkeit nicht nur zu- sondern auch abnehmen.³⁾

Industriegruppe Elektrotechnik, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.87

- 1) Vgl. Horowitz, Ira: Evaluation of the Results of Research and Development, a.a.O., S.42
- 2) Vgl. Kuhn, Alfred, a.a.O., S.2
- 3) Vgl. Lenel, H.O.: Ursachen der Konzentration, 2.Aufl., Tübingen 1968, S.90

2 3 3 Outputmaße

2 3 3.1 Patente

Patente als Maß für den Erfolg von Forschungs- und Entwicklungstätigkeit wurden vor allem in empirischen Untersuchungen vorgeschlagen.¹⁾ Als Argument für ihre Verwendung als Ausbringungsmaß wird angeführt, daß bei fehlender Möglichkeit, den FE-Output direkt zu bestimmen, die Patentzählung unter den gegebenen Einschränkungen im Hinblick auf Praktikabilität und Aussagekraft den bestmöglichen Kompromiß darstellt.²⁾ Zugleich wird auf ausreichende Verfügbarkeit entsprechender Daten hingewiesen.³⁾ Den Vorteilen der aus Statistiken leicht zu erhebenden Informationen stehen aber gewichtige Nachteile gegenüber.

Alleiniges Ziel industrieller FE ist nicht die Gewinnung einer möglichst hohen Zahl von Patenten, da im Regelfall die FE-Abteilung z.B. auch "trouble-shooting" Aufgaben hat, die in der Lösung fertigungstechnischer Tagesprobleme liegen. Zwar führen Patente über die Erzeugung von zeitlich begrenzten Monopolstellungen zu erhöhten Gewinnaussichten, trotzdem schätzt Gilfillan, daß in den Vereinigten Staaten nur 15-20 Prozent der Inventions-Projekte wegen der Aussicht auf Patentierung initiiert werden. Der Schutzeffekt von Patenten kann demgemäß als relativ gering angesehen werden.⁴⁾ Die Zahl der angemeldeten Patente hängt letzt-

-
- 1) s.u.a. die Arbeiten von: Scherer, F.M.: Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions, in: AER, Vol.55, 1965, S.1097-1125; Machlup, Fritz: Patente und der Aufwand für Forschung und Entwicklung, in: Naumann, Jens, a.a.O., S.161-172; Schmookler, Jacob: Invention and Economic Growth, Cambridge, Massachusetts 1966; Mueller, Dennis C.: Patents, Research and Development, and the Measurement of Inventive Activity, in: JIE, Vol.15, 1966/67, S.26-37
 - 2) Vgl. Schmookler, Jacob, a.a.O., S.23
 - 3) Vgl. Comanor, William S. und F.M.Scherer: Patent Statistics as a Measure of Technical Change, in: JPE, Vol. 77, 1969, S.392
 - 4) Vgl. Gilfillan, Colum S.: The Prediction of Technical Change, in: RES, Vol.34, 1952, S.374; Grefermann et al. gelangen nach einer Untersuchung neueren Datums allerdings zu dem Ergebnis, daß die befragten Unternehmen den Schutzeffekt von Patenten wesentlich höher einstu-

lich nicht allein von den in der FE-Abteilung erarbeiteten patentfähigen technologischen Erkenntnissen ab, sondern auch von der jeweiligen Patentpolitik des Unternehmens. Zudem sind durchaus nicht alle Ergebnisse der FE überhaupt patentfähig.¹⁾ Patente messen nur eine Phase der Wissens-erzeugung, wobei Grundlagenforschung gänzlich und Entwick-lungstätigkeit zu weiten Teilen unbeachtet bleiben.²⁾

Ein weiteres Argument gegen die Verwendung von Patentsta-tistiken betrifft die Vergleichbarkeit der Zeitreihen, besonders im Hinblick auf Langzeitanalysen. Beeinflussend auf die Neigung zur Patentanmeldung wirkt die Rechtspre-chung in Bezug auf die Patentgesetzgebung, das Aufkommen alternativer Schutzinstrumente oder auch ein steigender Anteil der von öffentlichen Körperschaften finanzierten industriellen FE.³⁾ Dies führt dann zu signifikanten Un-terschieden des Anteils patentierter an der Gesamtzahl aller Erfindungen, sowohl von Land zu Land wie von Indu-striestweig zu Industriestweig und Unternehmen zu Unterneh-men.⁴⁾

Eine einfache Zählung der Patente berücksichtigt auch nicht deren unterschiedliche Qualität und wirtschaftliche Bedeu-tung.⁵⁾ Es fehlt also die Einheitlichkeit des Maßstabes.

fen als den Informationseffekt. Vgl.: Grefermann, Klaus; Karl Heinrich Oppenländer, Elfried Peffgen, Karl Ch.Rothingshöfer; Lothar Scholz: Patentwesen und tech-nischer Fortschritt, Teil I: Die Wirkung des Patentwe-sens im Innovationsprozeß, Göttingen 1974, S.31

- 1) Vgl. Denison, Edward F.: Erkenntnisfortschritte und ihre Anwendung in der Produktion, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.188; Brockhoff, Klaus; Technischer Fortschritt II: im Betrieb, in: HdWW, S.596
- 2) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.125; Freeman, Christopher: Measurement of Output of Research and Develop-ment, a.a.O., S.21
- 3) Vgl. Comanor, William S. und F.M.Scherer, a.a.O., S.392f; Sanders, Barkev S., a.a.O., S.71
- 4) Vgl. Schmookler, Jacob und Oswald Brownlee: Einige Be-stimmungsfaktoren erfinderischer Aktivität, in: Nau-mann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.180; Scherer, F.M., a.a.O., S.1098
- 5) Vgl. Kantzenbach, Erhard: Innovation und Unternehmens-größe, in: Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung (Hrsg.): Innovation in der Wirtschaft, 2.Aufl., München 1970, S.226; Kuznets, Simon, a.a.O., S.37

Diesem Einwand wird entgegengehalten, daß bei einer genügend großen Zahl von betrachteten Patenten für ihre ökonomische oder technologische Bedeutung ein mittlerer Ziel-funktionsbeitrag angenommen werden kann. Da Streuungen um diesen Wert aber sehr groß sein können, muß eine Menge von Patenten betrachtet werden, wie sie im Rahmen mikroökonomischer Analysen im Großteil der Fälle nicht vorhanden ist.¹⁾ Verzerrt werden die Annahmen über einen solchen Mittelwert zudem durch die Tatsache, daß ein nicht unerheblicher Anteil der Patente überhaupt nicht oder erst nach Jahren wirtschaftlich genutzt werden²⁾ und zugleich bei vielen Patenten eine direkte wirtschaftliche Verwertung auch gar nicht angestrebt wird, da sie lediglich als Abwehrmaßnahmen gegen Konkurrenten dienen.³⁾

Neben den wegen ihres Charakters generell nicht patentfähigen technisch-naturwissenschaftlichen Neuerungen, werden vom Patentamt auch nur solche Erfindungen anerkannt, die gemäß seinen Standards objektiv neu sind. Der gesamte Bereich subjektiv neuen Wissens entfällt damit aus der Betrachtung.

Wird weiterhin berücksichtigt, daß nicht alle patentierten Erfindungen ihren Ursprung in der FE-Abteilung eines Unternehmens haben, müssen Effizienzaussagen, die auf der Zählung von Patenten beruhen, dahingehend relativiert werden, daß lediglich bestimmte Entwicklungstendenzen aufgezeigt werden können. Der genaue FE-Output wird jedoch nicht gemessen.

-
- 1) Vgl. Schröder, Hans-Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.56f.
 - 2) Vgl. Layton, E.: Conditions of Technological Development ; in: Spiegel-Rösing, Ina und Derek J. de Solla Price (Hrsg.): Science, Technology and Society, London - Beverly Hills 1977, S.200.
 - 3) Vgl. Grefermann, Klaus; Karl Heinrich Oppenländer; Elfried Peffgen; Karl Ch.Rothingshöfer; Lothar Scholz, a.a.O., S.17

2 3 3.2 Am Berichtswesen von Forschungs- und Entwicklungs- Bereichen orientierte Outputmaße

Da sich der gesamte Output einer Forschungsabteilung nur in den Forschungsberichten tatsächlich niederschlagen könne, sieht Kuhn darin auch den Schlüssel zur Quantifizierung des Outputs.¹⁾ Nicht allein die Anzahl der Forschungsberichte, sondern die in diesen enthaltenen Forschungsergebnisse sind danach Maßstab für den Output. Als Forschungsergebnis wird "eine nicht mehr weiter zerlegbare Informationseinheit"²⁾ definiert. Da schwierige FE-Aufgaben die Lösung mehrerer Randfragen und Unterprobleme erfordern, enthalten Berichte darüber auch eine größere Anzahl von Forschungsergebnissen als die Berichte über nur wenig komplexe FE-Tätigkeiten. Drückt sich aber der Schwierigkeitsgrad der zu lösenden Probleme in der Menge von Forschungsergebnissen aus, ergibt sich durch deren Auszählung zugleich der wissenschaftliche Output der FE-Abteilung.

Die Praktikabilität dieses Verfahrens sieht Kuhn durch die Annahme gewährleistet, Sachverständigen gelänge es ohne Schwierigkeiten, Resultate aus Forschungsberichten zu ermitteln und in einer Maßzahl auszudrücken. Die unterschiedliche ökonomische Bedeutung will er über die Zuordnung eines mittleren ökonomischen Wertes zu einer größeren Anzahl von Ergebnissen erfassen.³⁾ Gegen letztgenannte Annahme lassen sich die gleichen Zweifel anführen, die auch bei der Überwindung des Problems unterschiedlicher ökonomischer Bedeutung von FE-Ergebnissen bestehen. Zudem kann auch nur das Fehlen einer ausreichend großen Zahl von Forschungsberichten eine unternehmensspezifisch ausgerichtete Untersuchung erschweren.⁴⁾ Für eine vergleichende Analyse mehrerer Unternehmen wird sich dieses Verfahren auch deswegen kaum eignen, weil der Inhalt der Forschungsberichte kaum in jedem Fall offengelegt werden dürfte, dann aber der subjek-

1) Vgl. Kuhn, Alfred, a.a.O., S.4

2) ebenda, S.4

3) Vgl. ebenda, S.4

4) Vgl. Freeman, Christopher: Measurement of Output of Research and Development, a.a.O., S.14

tive Einfluß des Bewerter auf die Resultatsermittlung auch nicht ersichtlich sind.

Aus den Mängeln dieser Methode ist jedoch nicht zu schließen, den Forschungsoutput einfach durch Zählung von Publikationen zu ermitteln. Die fehlende Berücksichtigung der Qualität würde auch die Validität dieses Maßes zunichte machen. Wird die Bewertung von Forschern auf Basis von Publikationszählungen bekannt, ist nicht auszuschließen, daß diese einen größeren Teil ihrer Zeit für das Schreiben solcher Veröffentlichungen verwenden, deren Inhalt sie unter normalen Umständen nicht für unbedingt publikationswürdig ansehen. Industrielle FE wird aber nicht der Veröffentlichung halber betrieben, weswegen in den Unternehmenslabors eher Zeit auf das Lösen technisch-wissenschaftlicher Probleme als auf das Niederschreiben von Forschungsergebnisse verwendet wird.

Neben den schon aufgeführten Schwächen einer reinen Zählung von Publikationen gilt auch zu berücksichtigen, daß wissenschaftliche Zeitschriften sich im Auswahlmodus der in ihnen erscheinenden Artikel erheblich unterscheiden können.¹⁾ Außerdem differieren einzelne Zeitschriften in der Art der Präsentation von Artikeln.

Nicht alle Journale haben die gleiche Verbreitung, sowohl was ihre Leserschaft als auch ihre Auflagenzahl betrifft. Andererseits ist aber aus der Reputation einer Zeitschrift im Wissenschaftsbereich nicht unbedingt auf die inhaltliche Qualität einzelner Artikel zu schließen, denn damit würde eine Bewertung wiederum den subjektiven Einflüssen des die Artikel auswählenden Gremiums unterliegen.

Die Verzerrung der Ergebnisse einer derartigen Outputmessung wird zusätzlich verursacht durch die unterschiedliche Eignung einzelner Forschungsgebiete für wissenschaftliche Abhandlungen.²⁾ Experimente in der Hochenergiephysik

1) Vgl. Whitley, Richard und Penelope A.Frost: The Measurement of Performance in Research, in: Human Relations, Vol.24, 1971, S.165

2) Vgl. Zenz, Philipp, a.a.O., S.92

benötigen bis zur Fertigstellung beispielsweise oftmals zwei bis drei Jahre. Der an diesen Experimenten arbeitende Forscher mag nach Durchführung der Arbeit in der Lage sein, Abhandlungen über seine Arbeit zu erstellen. Aber in den Jahren bis dorthin wird sein Output an Publikationen nicht so hoch sein, wie z.B. der eines in der theoretischen Physik arbeitenden Forschers, dessen Arbeit nicht durch die begrenzten Möglichkeiten der Ausnutzung technischer Apparaturen eingeschränkt wird. Auf diese Weise beeinflusst die verwendete Technologie zum einen die Zahl der Publikationen, zum anderen aber auch die Wahl des Publikationsorgans.¹⁾

Zur Überwindung derartiger Probleme wurde vorgeschlagen, ergänzend zu den Veröffentlichungen die den Forschern zuerkannten Preise und Anerkennungen oder deren Teilnahme an Kongressen, Seminaren, Vorträgen etc. innerhalb einer Forschungsdisziplin in Betracht zu ziehen. Gegen derartige Maße spricht aber, daß zwischen der Leistungserbringung von Forschern und deren wissenschaftliche Anerkennung Jahre vergehen können und Ehrungen oder Vorträge bzw. Mitgliedschaften in entsprechenden Vereinigungen auch auf Forschungsergebnissen beruhen können, die zwar im Interesse des Forschers liegen, die aber nicht unbedingt Unternehmensleistungen sind und deren Beitrag zum Unternehmensziel fragwürdig bleibt.²⁾

Als weiterer Ansatz zur Erfassung der Qualitätsaspekte von FE-Ergebnissen wird die Zählung der einer Veröffentlichung folgenden Zitierungshäufigkeit genannt.³⁾

1) Vgl. Whitley, Richard und Penelope A.Frost, a.a.O., S.165

2) Vgl. Zenz, Philipp, a.a.O., S.92

3) Vgl. Martino, Joseph: Citation Indexing for R+D-Management, in: Cetron, Marvin J. und Joel D.Goldhar (Hrsg.), a.a.O., S.1503-1513; Sher, Irving und Eugene Garfield: New Tools for Improving and Evaluating the Effectiveness of Research, in: Yovits, M.C.; D.M.Gilford; R.H.Wilcox; E.Stavely; H.D.Lerner (Hrsg.): Research Program Effectiveness, New York 1966, S.135-146; Vollmer, Howard M.: Evaluating Two Aspects of Quality in Research Program Effectiveness, in: Yovits, M.C.; D.M. Gilford; R.H.Wilcox; E.Stavely; H.D.Lerner (Hrsg.), a.a.O., S.147-167; Hodge, M.H.: Rate Your Company's Research Productivity, in: HBR, Vol.41, H.6., 1963, S.109-122

Ein Vorteil dieser Methode ist die Verfügbarkeit der zugrunde zu legenden Daten. Diese können z.B. aus dem Science Citation Index gewonnen werden, der vierteljährlich veröffentlicht wird und alle in über 3.000 vorwiegend naturwissenschaftlichen Zeitschriften vorkommenden Zitierungen erfaßt. Die Eintragungen im Index sind alphabetisch geordnet. Nur der Erstautor der zitierten Arbeit wird angeführt, wobei für jeden Autor die zitierte Quelle, der Zitierer sowie der Zitatenort angegeben wird.¹⁾ Die Qualitätsmessung erfolgt derart, daß über die Häufigkeit von Zitierungen auf die inhaltliche Qualität wissenschaftlicher Abhandlungen geschlossen wird und diese wiederum als Indiz für die Qualität des Forschers bzw. des Forscherteams angesehen wird. Einschränkungen in der Aussagefähigkeit dieses relativ leicht anzuwendenden Verfahrens liegen im Vorkommen von Selbstzitierungen, von fehlerhaften oder unkorrekten oder auch durch bloßes Ansehen des Verfassers angeregten Zitierungen. Auch wenn das Selbstzitieren in der Outputmessung vernachlässigt werden kann, sind solche Verzerrungen schwieriger zu eliminieren, die durch Zitiergruppen entstehen, deren Mitglieder regelmäßig die Arbeiten anderer Gruppenmitglieder zitieren.²⁾

Ein Artikel niedrigen Inhaltsniveaus in einer weit verbreiteten Zeitschrift, vielleicht sogar über ein Thema von großem aktuellen Interesse, kann durchaus größere Wirkung auch in Form häufiger Zitierungen haben, als ein gehaltvoller Artikel in einer wenig populären Disziplin.³⁾ Denkbar ist auch, daß eine Abhandlung durch krasse Fehlaussagen zu einem abschreckenden Beispiel wird, auf die andere Autoren nur verweisen, um auch Quellen zu zeigen, wie ein wissenschaftliches Problem nicht gelöst werden sollte. In einem solchen Falle aus häufiger Zitierung auf hohes Qualitäts-

1) Vgl. Spiegel-Rösing, Ina S.: Messung der Forschungsleistung: Kontext der Fragestellung und Stand der Forschung, a.a.O., S.8

2) Vgl. Martino, Joseph, a.a.O., S.1505

3) Vgl. Edwards, Shirley A. und Michael W. McCarrey: Measuring the Performance of Researches, in: RM, Vol.17, 1973, S.37

niveau zu schließen, würde das Ergebnis einer Zitatenzählung genau gegenteilig der ursprünglichen Absicht wirken lassen. Überhaupt wird die Stellungnahme des Zitierenden zum zitierten Autor nicht erfaßt, so daß nicht zwischen positiver oder kritischer Einstellung zum zitierten Text unterschieden wird.

Zu bedenken bleibt auch, daß bei diesem Maß die Beziehung zum Ziel der forschenden Organisation fragwürdig bleibt¹⁾ und industrielle FE nicht so sehr auf die revolutionären Erkenntnisdurchbrüche, welche schließlich publiziert und zitiert werden, als vielmehr auf die laufende Verbesserung von Produkten und Verfahren oder die Entwicklung geringfügiger Modifikationen ausgerichtet ist.²⁾

2 3 3.3 Innovationen und Innovationsraten

Die Messung des FE-Output durch Innovationen impliziert die Umsetzung des wissenschaftlich-technischen Wissens in neue oder verbesserte Produkte und Verfahren. Zählung und Erfassung von Innovationen sind zwar grundsätzlich möglich, können jedoch in der praktischen Durchführung mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet sein.

Zunächst muß ein operationales Kriterium gefunden werden, welches die Feststellung zuläßt, ob ein Produkt bzw. Verfahren alt oder neu ist. Auch erschweren gegenseitige Abhängigkeiten die Trennung einzelner Innovationen und deren isolierte Betrachtung.

Desweiteren besteht, ähnlich wie bei den vorher besprochenen Maßen, das Problem der ökonomischen Bewertung der Innovationen gemäß ihren Beiträgen zur Erreichung des Unternehmenszieles. Dazu muß die Periodenlänge für die Berücksichtigung von Innovationen angegeben werden, deren Orientierung am Lebenszyklus und an der Marktperiode erfolgen

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Ein Ansatz zur Abschätzung des Forschungserfolges, a.a.O., S.709

2) Vgl. Brockhoff, Klaus: Forschungsprojekte und Forschungsprogramme: Ihre Bewertung und Auswahl, a.a.O., S.268

soll.¹⁾ Für die Markteinführung von Innovationen als Voraussetzung für eine derartige Bewertung, ist die Kombination mit auch außerhalb des FE-Bereiches liegenden Produktionsfaktoren nötig.²⁾ Lipetz hält den Einfluß von inner- und auch außerbetrieblichen Faktoren für so groß, daß er bezweifelt, innerhalb von zwei verschiedenen Unternehmen mit identischer FE-Tätigkeit auch gleiche Ergebnisse der aus der eigenen Forschung entstandenen Neuerungen vorfinden zu können.³⁾

Irreführend in Bezug auf die FE-Bewertung wird die Innovationszählung auch, wenn die Zahl der insgesamt vorgeschlagenen sowie die Zahl der nicht erfolgreichen Innovationen unbekannt bleibt.

Liegen die Ziele der FE nur im Bereich der Verfeinerung und Verbesserung schon vorhandener Technologie, verbietet sich die Anwendung eines solchen Maßes gänzlich,⁴⁾ da hier reine, gut abgrenzbare Innovationen garnicht auftreten.

Auch andere qualitative Aspekte müssen eingerechnet werden. Sommerlatte/Wennemer berichten von einem Unternehmen, in welchem sie im Rahmen einer Beratungsstudie den Umsatzanteil von den in den letzten fünf Jahren vor der Untersuchung aus der FE hervorgegangenen Produkten errechneten. Im Vergleich mit den entsprechenden Deckungsbeitragsanteilen stellten sie fest, daß der innovative Umsatzanteil stärker gestiegen war als der innovative Deckungsanteil. Ein kontinuierliches Fortschreiten auf diesem Weg hätte zu Unternehmensverlusten geführt.⁵⁾

Häufig finden sich in Unternehmensberichten auch Angaben bezüglich Innovationsraten, verstanden als Anteilsziffern von Produktinnovationen oder bestimmten, von diesen ausge-

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Die Produktinnovationsrate im Lagebericht, in: DB, 34.Jg., 1981, S.436 u. ders.: Technologischer Wandel und Unternehmenspolitik, a.a.O., S.632

2) Vgl. Brockhoff, Klaus: Technischer Fortschritt II: im Betrieb, a.a.O., S.600

3) Vgl. Lipetz, Ben Ami, a.a.O., S.39

4) Vgl. Whitley, Richard und Penelope A.Frost, a.a.O., S.173

5) Vgl. Sommerlatte, Tom und Manfred Wennemer, a.a.O., S.134

hende Wirkungen bezogen auf die Gesamtheit des Produktangebotes eines Unternehmens.¹⁾ Eine häufig anzutreffende Definition einer derartigen Innovationsrate ist z.B.²⁾:

Berichtsperioden-Umsatz aus den in den letzten J Jahren neu eingeführten Produkten

Innovationsrate = $\frac{\text{Berichtsperioden-Umsatz aus den in den letzten J Jahren neu eingeführten Produkten}}{\text{Gesamter Berichtsperioden-Umsatz}}$

Eine derartige Verhältniszahl vermag die Schwächen der Verwendung von Innovationen als Outputmaß nicht zu überwinden.

Mehrere Einflüsse bestimmen den Wert einer so definierten Innovationsrate. Für Betriebs- oder Abteilungsvergleiche, sowie Branchen- und Unternehmensgrößenvergleiche müssen die zu betrachtenden Jahre einheitlich gewählt werden, wobei i.d.R. mit zunehmenden Betrachtungszeiträumen auch eine Erhöhung der Innovationsrate zu erwarten ist.

"Im zwischenbetrieblichen Vergleich wird bei gegebenem J die Innovationsrate um so höher erscheinen, je kürzer die durchschnittliche Marktperiode der jeweils erfaßten Produkte ist."³⁾ Vergleiche sind daher nur unter der Bedingung ähnlicher Produktlebenszyklen sinnvoll.

Die Höhe der Innovationsrate wird nicht nur von Neueinführungen positiv beeinflusst, auch das Ausscheiden alter Produkte sorgt für die Erhöhung des Umsatzverhältnisses, ungeachtet, ob verlust- oder gewinnbringende Tätigkeiten abgebaut wurden.⁴⁾

Bestehen Interdependenzen von Zähler und Nenner aufgrund substitutiver oder komplementärer Beziehungen zwischen den Produkten, so ändern diese den Nenner, wenn ihre Wirkungen

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Die Produktinnovationsrate im Lagebericht, a.a.O., S.433

2) s.insbes. die Definition bei: Brockhoff, Klaus: Die Produktinnovationsrate als Instrument der strategischen Unternehmensplanung, in: ZfB, 55.Jg., 1985, S.452

3) Ebenda, S.452

4) Vgl. ebenda, S.452

über den Zeitraum der J Jahre hinausgehen.¹⁾ Der Nenner kann auch durch Umsatzveränderungen schwanken, deren Ursachen nicht im Produktbereich eines Unternehmens anzusiedeln sind.

Innovationen oder Innovationsraten erlauben aus den genannten Gründen nur sehr beschränkte Aussagen und eignen sich daher kaum als alleiniges Effizienzmaß für FE.

2 3 3.4 Weitere am Forschungs- und Entwicklungs-Output orientierte Bewertungsmaße

Erwähnt werden als Maßstäbe für FE neben den schon angesprochenen Kriterien die Anzahl der gegebenen oder in Anspruch genommenen Beratungen oder die Zahl der Vorträge außerhalb des Unternehmens. Diese Maße brauchen kaum einer näheren Analyse unterzogen zu werden, da sie nur Nebenprodukte der eigentlichen FE-Tätigkeit sind und den gesamten FE-Output daher niemals erfassen können.²⁾ In verschiedenen Untersuchungen wurden auch Kombinationen der dargestellten Maßstäbe verwendet.³⁾ Die schon aufgezeigten Mängel der einzelnen Maßstäbe werden dadurch nicht gemindert. Schröder rechnet sogar mit einer Verstärkung der aus der Wahl solcher Ersatzmaßstäbe resultierenden systematischen Verzerrungen.⁴⁾

Weitere Vorschläge der Leistungsmessung erstrecken sich auf die Ermittlung der durch FE ausgelösten Investitionen⁵⁾ und

1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Die Produktinnovationsrate als Instrument der strategischen Unternehmensplanung, in: ZfB, 55.Jg., 1985, S.452

2) Vgl. Chorafas, D.N., a.a.O., S.67; Kuhn, Alfred, a.a.O., S.4

3) s.u.a. die Studien von: Andrews, Frank M.: Scientific Performance as Related to Time Spent on Technical Work, Teaching, or Administration, in: ASQ, Vol.9, 1964/ 65, S.182-189; Chaney, F.B.: A Cross-Cultural Study of Industrial Research Performance, in: JAP, Vol.50, 1966, S.206-210; Farris, G.F.: Organizational Factors and Individual Performance: A Longitudinal Study, in: JAP, Vol.53, 1969, S.87-92

4) Vgl. Schröder, Hans-Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.59

5) Vgl. Croxton, F.C.: New Techniques for Increased Research Productivity, in: Institution of Chemical Engineers (Hrsg.): Proceedings of the Symposium on Productivity in Research, London 1964, S.8f., zitiert bei: Bardy, Roland, a.a.O., S.66.

auf die Zählung der Häufigkeit von Kosten- und Terminabweichungen im FE-Bereich.¹⁾ Zum ersten bleibt anzumerken, daß die Höhe der Folgeinvestitionen von FE nicht unbedingt von Qualität oder Quantität der FE-Ergebnisse abhängen müssen, da z.B. die Art der Technologie alleine schon großen Einfluß auf die einzusetzenden Mittel hat.

Beim zweiten Vorschlag ist ein gravierender Nachteil in der Manipulationsmöglichkeit dieses Indikators zu sehen. Forscher, die danach bewertet werden, könnten dazu verleitet werden, zwar ihre Kosten- und Zeitvorgaben einzuhalten, dafür aber Abstriche am angestrebten Forschungsergebnis zu machen.²⁾ Zudem würde die Effizienz der FE-Tätigkeit davon abhängen, in welcher Art und Weise, restriktiv oder weit und flexibel gefaßt, die Kosten- und Zeitlimits gegeben werden. Auch von der Art und dem Schwierigkeitsgrad der FE würde ein so gemessener FE-Output abhängen. Labors mit leicht überschaubaren Routineprojekten können ihre Vorgaben leichter einhalten als Forschungsstätten, in denen komplexe und im Ergebnis unvorhersehbare Projekte bearbeitet werden.

2 3 5 Verknüpfung von Input- und Outputmaßen

2 3 5.1 Verhältniszahlen

Verhältniszahlen als Quotienten von jeweils zwei Maßstäben drücken die Beziehung gleichartiger oder verschiedenartiger Größen zueinander aus. Die für eine Beurteilung der FE-Tätigkeit häufig anzutreffenden Input-Output-Verknüpfungen sind derart, daß verschiedene Einzelfaktoren den gesamten FE-Kosten oder Unternehmensgewinnen gegenübergestellt werden. Als derartige Verhältniszahlen nennt Seiler:

- Verhältnis von FE-Kosten zu Unternehmensgewinnen,

-
- 1) Vgl. Evan, William M.: Conflict and Performance in R+D-Organisation: Some Preliminary Findings, in: Industrial Management Review, Vol.7, 1965, S.37-46 und Marquis, D.G. und D.M.Straight: Organizational Factors in Project Performance, in: Yovits, M.C.; D.M.Gilford; R.H.Wilcox; E.Stavelly; H.D.Lerner (Hrsg.), a.a.O., S.441-458
 - 2) Vgl. Whitley, Richard und Penelope A.Frost, a.a.O., S.171

- Prozentsatz der Gewinne aus neuen Projekten am Gesamtgewinn,
- Verhältnis von Marktanteil und FE-Kosten,
- FE-Kosten im Verhältnis zum Umsatzvolumen,
- FE-Kosten verglichen mit dem Verhältnis Umsatz aus neuen und alten Produkten,
- FE-Kosten pro Arbeitnehmer,
- FE-Kosten im Verhältnis zu Verwaltungs- und Vertriebskosten.¹⁾

Kern schlägt vor, den Ertrag der FE aus der Formel für den Return on Investment zu bestimmen.²⁾ Da FE-Aufwendungen in gleicher Weise wie Sachinvestitionen Erträge erbringen müssen, könne für FE-Aufwendungen ähnlich wie für Anlageinvestitionen ein Return auf Forschungsinvestitionen definiert werden, wobei dem Return der Cash Flow plus dem jährlichen FE-Aufwand und der Investition die Summe der FE-Aufwendungen über eine festzulegende Zahl von Jahren entspricht.³⁾

$$ROI_{FE} \text{ (in \%)} = \frac{\text{Cash Flow} + \text{jährlicher FE-Aufwand}}{\text{Summe FE-Aufwand über J Jahre}}$$

Zur Kennzeichnung der Produktivität einer FE-Abteilung ist die Bildung weiterer Verhältniszahlen denkbar, wobei gewissermaßen jedes der in Kapitel 2 3 3 erwähnten Outputmaße mit einem Inputmaß verknüpft werden kann. In einer Untersuchung zur Qualität der Forschung in Hochschullabors berechnet J.Spiegel-Rösing z.B. einen Produktivitätsindex aus der Anzahl der Publikationen im Zähler und Zahl der publizierenden Wissenschaftler (Erstautoren) im Nenner. Je höher der aus dem Quotienten dieser Größen resultierende Index, desto positiver wird ein Labor bewertet.⁴⁾ Durch die Berücksichtigung auch eines Inputmaßes erhalten diese Größen zwar eine erhöhte Aussagekraft, die schon diskutierten

1) Vgl. Seiler, Robert E., a.a.O., S.190

2) Vgl. Kern, Fritz: Forschung und Unternehmensgröße, in: Siegwart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.46

3) Vgl. ebenda, S.46

4) Vgl. Spiegel-Rösing, Ina S.: Zur Messung der Forschungsleistung von Institutionen: Wissenschaftliche Produktivität westdeutscher Universitäten. Eine explorative Untersuchung, in: Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.), a.a.O., S.37

Schwächen der einzelnen Maßzahlen verlieren aber nicht an Stärke. Die vorgetragenen Mängel der einzelnen Outputindikatoren bleiben voll erhalten. So ist denn auch die allgemeine Kritik an all den oben erwähnten Verhältniszahlen hauptsächlich auf ihre mangelnde Aussagefähigkeit gerichtet. Es werden immer nur bestimmte Gesichtspunkte der FE-Aktivitäten betrachtet, ein umfassender und direkter Zusammenhang von FE-Input und -Output wird nicht erfaßt. Das Problem der richtigen zeitlichen Verknüpfungen und der ursachengerechten Zuordnung des angemessenen Gewinnanteils sind ungelöst. Während die erstere Schwäche durch Berücksichtigung eines geeigneten zeitlichen Verzögerungsfaktors zumindest teilweise beseitigt werden kann, wirft das Splitten von Größen wie Gewinn, Umsatz oder Marktanteil in von FE verursachte Anteile Quantifizierungsprobleme auf, die im Rahmen der Bildung von Verhältniszahlen nicht gelöst werden können. Aus diesen Gründen stuft Seiler solche Maße als für die direkte Effizienzbeurteilung unbrauchbar ein. Nützlich sind sie höchstens für die Betrachtung von Trends und Beziehungen über eine längere Zeit,¹⁾ wobei man sich aber immer ihre mangelnde Aussagekraft vor Augen halten muß.

2 3 5.2 Produktionsfunktionen für Forschung und Entwicklung

Da industrielle FE als eigener Produktionsprozeß gedeutet werden kann, "in dem betriebliche Produktionsfaktoren unter Wahrung des ökonomischen Prinzips kombiniert und zu einer betrieblichen Leistung transformiert werden",²⁾ wurde der Versuch unternommen, ähnlich wie im Bereich der Sachgüterproduktion, die Regeln der Produktion technischen Wissens allgemeingültig zu fassen. Das für derartige Probleme im Bereich der Sachgütererstellung zur Verfügung stehende Instrument ist die Produktionsfunktion. Durch sie werden die formal-strukturierten Bedingungen der Transformation von Inputs in Outputs erfaßt. Sie zeigt somit den zwischen den einzusetzenden Produktionsfaktormengen und der entspre-

1) Vgl. Seiler, Robert E., a.a.O., S.192

2) Huch, Burkhard: Forschung und Entwicklung - ein betriebsnotwendiger Tatbestand, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.619.

chenden Ausbringung bestehenden funktionalen und technisch determinierten Zusammenhang. Ihre ökonomische Bedeutung liegt in der Möglichkeit, eindeutige Kostenfunktionen abzuleiten und über eine wertmäßige Erfassung von Input und Output die ökonomischen Wahlmöglichkeiten der Unternehmen in Rahmen der Leistungserstellung zu zeigen.¹⁾ Gelänge die Aufstellung einer Produktionsfunktion für FE, ließen sich Aussagen darüber machen, welche Ausbringungssteigerung mit vermehrtem Faktoreinsatz möglich ist, bzw. welche Kosten für einen bestimmten Output bestritten werden müssen. Auch würde eine Produktionsfunktion den Rahmen abgeben, innerhalb dessen die Effizienz der FE-Tätigkeit gesichert ist, da der Begriff der Effizienz beinhaltet, daß gegebene Outputs mit minimalen Inputs bzw. bei gegebenen Inputs der maximale Output erreicht wird.²⁾

Einer der ersten Versuche zur Aufstellung einer Beziehung zwischen Produktionsfaktoreinsatz und FE-Ergebnissen wurde von Machlup auf gesamtwirtschaftlicher Ebene durchgeführt.³⁾ Unter der Bedingung eines fixen Faktors für den Stand des technischen Wissens und die Zahl der bekannten, zur Lösung anstehenden Probleme, sowie variablem Einsatz von erfinderischer Arbeit und der zu ihrer Durchführung notwendigen Ausrüstung, findet er für die zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer Volkswirtschaft bestehende Produktionsfunktion eine Form, welche dem Verlauf der Produktionsfunktion gemäß dem Ertragsgesetz ähnelt, da mit zunehmender Zahl der Forscher bei gleichbleibender Menge von Problemen mehr und mehr ähnliche Lösungen für das gleiche Problem geschaffen werden. Hätte es zu dieser Zeit mehr Probleme gegeben, wären auch mehr Lösungen gefunden worden, die Produktivität somit gleichzeitig gesteigert wor-

-
- 1) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.56
 - 2) Vgl. Brockhoff, Klaus: Technischer Fortschritt II: im Betrieb, a.a.O., S.583; Schröder, Hans-Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.18f.
 - 3) Vgl. Machlup, Fritz: The Supply of Inventors and Inventions, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.) a.a.O., S.143-167

den.¹⁾ Wegen der auch vom Autor selbst gesehenen allgemeinen Probleme der Aufstellung einer FE-Produktion, die vor allem aus

- der Unmöglichkeit der Quantifizierung des technischen Wissens,
- der Heterogenität des Inputs (besonders der menschlichen Arbeit),
- der Unsicherheit, mit der die Produktionsbeziehungen behaftet sind,²⁾

resultieren, schränkt er seine Aussagen dahingehend ein, bei gleichzeitig sehr weiter Auslegung des Begriffs der Produktionsfunktion nur Tendenzaussagen machen zu wollen.³⁾

Die erstere der genannten Schwierigkeiten erwächst aus der Heterogenität des Outputs in Form neuen Wissens. Selbst wenn davon ausgegangen wird, einzelne Einheiten von Wissen, festgelegt z.B. als Erfindungen, klar voneinander unterscheiden zu können, sind diese doch nicht zur direkten Messung der Ausbringung der FE-Abteilung verwendbar. Neue Erfindungen unterscheiden sich von jeglichem bisher vorhandenen Wissen, ihre Bedeutungen sind verschieden und quantitativ nicht zu erfassen.⁴⁾ Allenfalls eine qualitative Bewertung über eine Expertenbefragung kommt u.U. in Betracht. Derartige Beurteilungen, die in der Aufstellung einer ordinalen Rangfolge münden, eignen sich aber nicht für die Darstellung mengenmäßiger Beziehungen.

Daraus wird nun einerseits gefolgert, daß die Aufstellung einer allgemeingültigen Produktionsfunktion im herkömmlichen Sinne für den FE-Bereich nicht möglich ist. Allenfalls für bestimmte Erfindungen ließen sich Teilfunktionen ermitteln, welche konkrete Produktivitätsbeziehungen zeigen könnte.⁵⁾

-
- 1) Vgl. Machlup, Fritz: The Supply of Inventors and Inventions, a.a.O., S.159f.
 - 2) Vgl. ebenda, S.152ff; Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.57; zur Kritik s.auch: Prosi, Gerhard, a.a.O., S.141f.
 - 3) Vgl. Machlup, Fritz: The Supply of Inventors and Invention, a.a.O., S.155
 - 4) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.59
 - 5) Vgl. ebenda. S.61

Andererseits wird versucht, den Output an neuem technischen Wissen approximativ über die schon in Kapitel 3 3 3 erwähnten Publikationen, Patente oder andere, der eigentlichen Wissenserhöhung angenäherten Größen zu messen.¹⁾ Damit leben aber auch die bekannten Schwächen der einzelnen Konzepte wieder auf.

Tritt die Dominanz qualitativer Aspekte bei FE-Aktivitäten gegenüber quantitativen bei der Produktion materieller Güter schon in der Heterogenität der FE-Ergebnisse zu Tage, wird das Problem der Erfassung quantitativer Beziehungen noch deutlicher bei Betrachtung der Produktionsfaktoren. Im FE-Bereich sind dies im wesentlichen die menschliche Arbeit, die Forschungsstätten mitsamt ihren Einrichtungen, sowie das bisher bekannte, naturwissenschaftlich-technische Wissen. Wichtigster Faktor für die Wissensproduktion ist die menschliche Arbeit und dort weniger der quantitative Einsatz, als die qualitative Befähigung der Beschäftigten. Diese ist jedoch "als Folge der vorwiegend psychisch-intellektuellen Arbeitsanforderungen und der Bedeutung der Motivation für das Arbeitsergebnis äußerst heterogen."²⁾ In produktionstheoretischen Untersuchungen dürfen aber nur homogene Produktionsfaktoren zusammengefaßt werden. Im Bereich der Sachgüterproduktion erfolgt eine derartige Homogenisierung beim Faktor Arbeit über die Zählung von z.B. eingesetzten Mannstunden oder bei den Kapitalgütern über eine Bewertung mit ihren jeweiligen Preisen. Zwar ist eine Zusammenfassung des Arbeitseinsatzes im Leistungserstellungsbereich nicht ohne Einschränkung gerechtfertigt, die ausführende Arbeit in diesem Bereich wird aber zumindest in gewissen Grenzen als gleichartig angesehen.³⁾

-
- 1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Technischer Fortschritt II: im Betrieb, a.a.O., S.595
 - 2) Vgl. Schröder, Hans Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.77
 - 3) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.62

Da dies im FE-Bereich in weit geringerem Maße gilt, ist in FE-Produktionsfunktionen bei grundsätzlich verschiedener Leistungsintensität der Faktoren tendenziell jede einzelne Arbeitskraft als spezieller Produktionsfaktor anzusehen. Es entsteht ein Trend zur Atomisierung der Faktoreinsatzstruktur, der die Zahl der Produktionsfaktoren enorm erhöht und gleichzeitig jeglichen Spielraum für Faktorsubstitutionen und Veränderungen der Einsatzmengen vorhandener Faktorqualitäten erheblich verkleinert. Veränderungen erfolgen daher regelmäßig nur in der Menge der Faktorqualitäten.

Fehlt die Möglichkeit der Homogenisierung der Faktoren im FE-Bereich, kann auch keine alleinige und allgemein gültige Produktionsfunktion erstellt werden, vielmehr ergibt sich ein ganzes Bündel solcher Funktionen, da jede Veränderung im Faktoreinsatzverhältnis den Übergang zu einer neuen Produktionsfunktion bedingt.

Sind Betriebsmittel als Produktionsfaktor im FE-Bereich genauso wie im Bereich der Theorie der Sachgütererstellung zu behandeln, ergeben sich weitere Probleme bei der Betrachtung des Wissens als Einsatzfaktors. Da freies, von den FE-Bemühungen des untersuchten Unternehmens unabhängiges Wissen keinen Preis hat, beim monopolisierten Wissen aber die Kosten der Verwendung des Wissens unabhängig sind von ihrer Nutzungsintensität und auch beim dokumentierten Wissen die Kosten der Lagerung nutzungsunabhängig sind, sieht Schätzle es als zweckmäßig an, technische Kenntnisse nicht als eigenständigen Produktionsfaktor zu behandeln.¹⁾

Ihre Verbannung in den Bereich der Produktionsgrundlagen erzeugt aber neue Probleme. Jeder Arbeitsvorgang im FE-Bereich verändert durch den Zuwachs von noch so kleinen Wissensseinheiten die Produktionsbedingungen. Können im Bereich der Gütererstellung Produktionsverfahren unter gleichen Bedingungen wiederholt ablaufen, verändert jede neue Information die Produktionsbasis, auf der die nachfolgenden Stufen aufbauen, da Wissen nur einmal gewonnen werden muß und dann

1) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.66f.

für immer zur Verfügung steht.¹⁾ Neue Kenntnisse als Erweiterung des technischen Horizontes eröffnen wiederum neue Produktionsmöglichkeiten, welche sich wiederum in einer Schar neuer Produktionsfunktionen niederschlagen.²⁾

Solange FE nur als Hilfsprozeß der Produktion angesehen wurde, erschienen die Wirkungen ihrer Ergebnisse im Rahmen der Betrachtung von Produktionsfunktionen für die Sachgütererzeugung nur im Übergang von einer Produktionsfunktion zur nächsten. Dieser Übergang wurde bedingt zum einen durch Veränderung der technischen Grundlagen oder der zu erzeugenden Sachgüter, zum anderen durch Qualitätsverschiebungen bei den Einsatzfaktoren Arbeit und Kapital.³⁾

Mit der Deutung des aus FE gewonnenen Wissens als eigenständigen Produktionsfaktor entstanden später mehrere Ansätze zur Gewinnung von FE-Produktionsfunktionen unter expliziter Berücksichtigung der FE-Tätigkeit.⁴⁾ Sie ähneln sich insofern, als ausgehend von der allgemeinen Produktionsfunktion

$$(2.1) \quad O_t = f(L_t, k_t, W_t)$$

-
- 1) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.80
 - 2) Vgl. Schätzle, Gerhard: Technischer Fortschritt und Produktionsfunktion, in: Moxter, Adolf; Dieter Schneider u. Waldemar Wittmann (Hrsg.): Produktionstheorie und Produktionsplanung, Köln und Opladen 1966, S.60
 - 3) Vgl. Schröder, Hans Horst: Forschung und Entwicklung, a.a.O., Sp.631
 - 4) s.u.a. Mansfield, Edwin: Industrial Research and Technological Innovation, New York 1968; Minasian, Jora R.: Research and Development, Production Functions and Rates of Return, a.a.O., S.80-85; Brockhoff, Klaus: Zur Quantifizierung der Produktivität industrieller Forschung durch die Schätzung einer einzelwirtschaftlichen Produktionsfunktion - Erste Ergebnisse, a.a.O., S.248-276; ders.: Ein Ansatz zur Abschätzung des Forschungserfolges, a.a.O., S.709-723; Bardy, Roland, a.a.O.; Latz, Hans, a.a.O.;
Vgl. zur Darstellung und Kritik der Ansätze: Schröder, Hans Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.87-95 und ders.: Forschung und Entwicklung, a.a.O., Sp.631f.

in der O den Output, L, k, W die Arbeits-, Kapital- und Wissensenseinsätze und t die Zeit symbolisieren, fast alle Autoren unterstellen, daß W aufgeteilt werden kann in freies Wissen WF und monopolisiertes Wissen WM und WF nur eine Funktion der Zeit ist. Als Zuordnungsvorschrift wird die Cobb-Douglas-Funktion gewählt; wodurch sich

$$(2.2) \quad O_t = a_0 \cdot L_t^{a_1} \cdot K_t^{a_2} \cdot WM_t^{a_3} \cdot g_0(t)$$

ergibt, mit a_0 als Niveaunkonstante und a_1, a_2, a_3 als Produktionselastizitäten der drei Einflußfaktoren.

Für WM_t als monopolisiertes Wissen wird angenommen, daß es eine Funktion aller FE-Aufwendungen der Vergangenheit ist.

$$(2.3) \quad WM_t = \prod_{\tau=1}^t g_{3t\tau} \{g_{2t\tau} [g_{1\tau} (FE_\tau)]\}$$

FE_τ sind die FE-Aufwendungen in Periode τ , $g_{1\tau}, g_{2t\tau}, g_{3t\tau}$ sind Zuordnungsvorschriften, die aus dem Zusammenhang zwischen FE-Aufwendungen und dem in der Sachgüterproduktion eingesetzten Wissen WM entstehen: Die FE-Aufwendungen in Periode τ erbringen neues Wissen in Periode τ (Zuordnung $g_{1\tau}$). Ein Teil davon bildet das in Periode t noch verwendbare Wissen aus Periode τ (Zuordnung $g_{2t\tau}$), woraus schließlich das in Periode t eingesetzte Wissen aus Periode τ wird (Zuordnung $g_{3t\tau}$). Die Unterschiede der Modelle liegen größtenteils in diesen Zuordnungsvorschriften begründet, wobei der Wahl der Funktion $g_{1\tau}$ als eigentliche Produktionsfunktion für FE besondere Bedeutung zukommt.

Keiner der Ansätze zur Erfassung des Einflusses von FE als Wissensproduktion auf die Sachgütererstellung enthält eine spezifische FE-Produktionsfunktion. Vielmehr werden in allen Ansätzen die erworbenen Kenntnisse aus FE-Tätigkeit den FE-Aufwendungen gleichgesetzt.

Grundlage für die Ableitung einer den besonderen FE-Gegebenheiten gerecht werdenden Produktionsfunktion kann ein derartiges Vorgehen nicht sein. Dies wird umso deutlicher, wenn zusätzlich die unterschiedliche Zuverlässigkeit des Datenmaterials beachtet wird. Es gibt keine Garantie, daß gerade im FE-Bereich die Angaben von Unternehmen

untereinander vergleichbar sind, zumal wenn nicht gesichert ist, daß die tatsächlichen Abgrenzungen auch einer einheitlichen Terminologie entnommen werden.¹⁾ Aufgrund der großen Ergebnisunsicherheit von FE-Aktivitäten geht ein weiterer Vorschlag dahin, die im Sachgüterbereich anzutreffenden Produktionsfunktionen mit deterministischer Natur aufzugeben und dem stochastischen Charakter der Input-Output-Beziehungen verstärkt Rechnung zu tragen. Dazu werden FE-Produktionsfunktionen auf probalistischer Basis vorgeschlagen, die einerseits über eine reine Projektbezogenheit der Singularität von Ergebnissen der FE Ausdruck verleihen und andererseits über ihren konjunkturalen Charakter die FE-immanente Unsicherheit hervorheben.

In einem Ansatz von Schröder werden derartige FE-Produktionsfunktionen unter Einbeziehung technischer Erfolgswahrscheinlichkeiten konstruiert.²⁾ Dabei wird FE als Instrument zum Erwerb von Informationen angesehen. Da Unsicherheit auf unvollständigem Wissen beruht, Unsicherheit und Wahrscheinlichkeit gleichzeitig in reziprokem Verhältnis zueinander stehen, wird der Output von FE an der Verringerung der Unsicherheit darüber betrachtet, in welche der gemäß einer Präferenzfunktion aufgeteilten Teilmengen aus der Menge aller möglichen Ergebnisse das tatsächliche Ergebnis voraussichtlich fallen wird. Gemessen wird die Verringerung der Unsicherheit an der Veränderung der Wahrscheinlichkeit für die Erreichung einzelner Teilmengen. Der Verfasser selbst gibt an, in seinem Ansatz nur erste Grundzüge einer Konzeption erfaßt zu haben, die nicht als Grundlage zur Ableitung von praktisch anwendbaren FE-Produktionsfunktionen geeignet ist.³⁾

-
- 1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Technischer Fortschritt II: im Betrieb, a.a.O., S.602
 - 2) Vgl. Schröder, Hans-Horst: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.101-137
 - 3) Vgl. ebenda S.101 u.122

2 3 6 Ansätze zur Messung des ökonomischen Erfolges von Forschungs- und Entwicklungs-Bereichen

Da in jedem erwerbswirtschaftlich orientierten Unternehmen neben technisch-wissenschaftlichen auch immer wirtschaftliche Zielsetzungen die Ausrichtung der FE-Tätigkeit bestimmen, liegt es für die Unternehmensleitung nahe, eine Bewertung dieser Aktivitäten auch an diesen Zielgrößen auszurichten. Da aber von der Wissensproduktion in der FE-Abteilung bis zur Verwertung von Produkten am Markt eine Reihe von Aktivitäten zwischengeschaltet sind, bestehen hinsichtlich einer direkten Verrechnung des wirtschaftlichen Erfolges bzw. Mißerfolges auf die FE-Tätigkeit erhebliche Unsicherheiten. Es fehlt an der konkreten Zurechenbarkeit des gesamten Ertrages auf die beteiligten Leistungsfaktoren,¹⁾ wobei diese Aussage sowohl für das einzelne Forschungsprojekt,²⁾ als auch für die gesamte FE-Abteilung gilt.³⁾ Gürtzgen nennt zwei Verfahren zur Ermittlung des ökonomischen Beitrages der FE-Abteilung zum Unternehmensziel: Der Ertragsindex und die Ermittlung der überdurchschnittlichen Verzinsung.⁴⁾ Gemäß dem Konzept des Ertragsindex wird der FE-Tätigkeit ein Prozentsatz des jährlichen Gesamtertrages eines Unternehmens zugerechnet. Olsen, als bekanntester Verfechter dieser Methode, sieht die Komponenten der Erfolgssteigerungsmöglichkeiten aus FE-Aktivitäten in der Senkung von Produktionskosten und in einer Umsatzerhöhung durch verbesserte oder neue Produkte. Diesen einzelnen Komponenten werden spezielle Ertragsanteile zugerechnet.

-
- 1) Vgl. Witte, Eberhard: Forschung, Werbung und Ausbildung als Innovationen, in: Ortlieb, Hans Dietrich (Hrsg.): Hamburger Jahrbuch für Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik, 7.Jahr, Tübingen 1962, S.217
 - 2) Vgl. Mechlin, George F. und Daniel Berg: Evaluating Research - ROI is not enough, in: HBR, Vol.58, H.5, 1980, S.95
 - 3) Vgl. Gürtzgen, Winfried: Forschung und Entwicklung als industrielle Investition, Diss.Köln 1966, S.177
 - 4) s.zum folgenden insbes. Gürtzgen, Winfried, a.a.O., S.178-184; zum Konzept des Ertragsindex s.auch: Olsen, Fred: The Control of Research Funds, in: Rubenstein, Albert H. (Hrsg.): Coordination, Control and Financing of Industrial Research, New York 1955, S.101ff.

Bei der Senkung von Produktionskosten gelten als FE-Ertragsanteil die Ersparnisse aus verringertem Ressourcenverzehr innerhalb eines Jahres, bei Produktverbesserungen werden zwei Prozent des Umsatzes aus zwei Rechnungsperioden verrechnet und bei neuen Produkten ein Anteil von drei Prozent über fünf Perioden zugeteilt, wenn die Gewinnspanne nicht unter diesem Anteil liegt.

Die Gesamtleistung für ein Rechnungsjahr wird sodann durch Addition der Einzelindices ermittelt.

Die Mängel der Verfahrens liegen offensichtlich in der Willkürlichkeit der Festlegung der Zurechnungszeitspannen und der Umsatzprozentsätze. Über alle Branchen und Technologien lassen sich solche Zahlen kaum allgemeingültig festlegen. Ähnlich den in Kapitel 2 3 3.3 erwähnten Maßen setzt das Verfahren bei den Innovationen an, geht aber über eine einfache Zählung hinaus, indem eine ökonomische Beurteilung durch Zuordnung mittlerer Werte erfolgt. Ein derartiger Ansatz beseitigt aber die oben erwähnten Einwände gegen die Outputmessung durch Innovationen kaum.

Daher wird auch der Wert einer solchen Rechnung nicht in den ermittelten Absolutzahlen gesehen, sondern mehr im Vergleich der Kennzahlen über mehrere Perioden oder verschiedene FE-Abteilungen¹⁾.

Beim zweiten Verfahren wird die überdurchschnittliche Verzinsung des eingesetzten Kapitals als Erfolgsbeitrag der FE angesehen. Zur Berechnung wird das Produktionsprogramm in alte und aus der FE entstandene, neue bzw. verbesserte Produkte aufgeteilt. Sodann werden die durchschnittlichen Gewinnraten dieser beiden Gruppen ermittelt. Liegt diese bei neuen Produkten höher als bei den alten, wird der Übergewinn als Erfolg der FE verbucht. Die Zurechnung erfolgt so lange, wie derartige Übergewinne entstehen, d.h. solange bis aus dem ursprünglich neuen ein eingeführtes Standardprodukt geworden ist. Bedenkt man, wie viele verschiedenen unternehmenspolitischen Aktionen Ursache von Übergewinnen sein können, ist eine Zurechnung des Übergewinns alleine

1) Vgl. Jacot, Simon-Pierre: Planung und Erfolgskriterien der Forschung und Entwicklung, in: Siegwart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.65

zur FE-Abteilung nicht vertretbar. Das Problem der ursachengerechten Verteilung auf die einzelnen unternehmenspolitischen Aktivitäten löst auch dieses Verfahren nicht.

2 3 7 Ganzheitliche Bewertungsmethoden

Im Rahmen dieser Methoden soll über mehrere Bewertungsobjekte eine Präferenzordnung bezüglich einer gesamthaften Bewertung gebildet werden. Für die derartige Ableitung einer Präferenzordnung sind eine Reihe verschiedener Methoden entwickelt worden, von denen einige im folgenden vorgestellt und auf ihre Eignung für die in dieser Arbeit zugrunde liegende Fragestellung geprüft werden sollen.

- Rangordnungsmethoden

Die Ableitung einer Rangordnung kann dadurch erfolgen, daß der Beurteilende bzw. das Beurteilungsgremium jedem Objekt eine Rangzahl zuordnet, welche die Präferenzordnung der Bewertungsobjekte widerspiegelt. Dies geschieht z.B. derart, daß jedem Beurteilungsobjekt eine Zahl zugeordnet wird, welche direkt seine Stellung innerhalb der Abfolge der Objekte angibt. Die Zuordnung 1 würde demgemäß bedeuten, daß dieses Objekt am höchsten eingeschätzt wird, das Objekt mit der Zuordnung 2 am zweithöchsten usw. Je höher der Betrag der Rangzahl, desto schlechter wäre die Bewertung.¹⁾

- Ratingverfahren

Die einzelnen Objekte werden auf einer zweipoligen Skala eingeordnet, die entweder unstrukturiert ist, wobei dann nachträgliche Zahlenwerte anzubringen sind, oder die in diskrete Abschnitte eingeteilt ist. Diese können verbal oder mit Zahlen gekennzeichnet sein. Zahlen haben den Vorteil, daß sie je nach dem Urteilsvermögen eines Beurteilenden beliebig fein gegliedert werden können.

- Methoden des Paarvergleichs

Der Grundgedanke zur Verwendung von Methoden des Paarvergleichs entstammt der Psychologie. Ausgehend von der Überlegung, daß jeder Stimulus eine Reaktion erzeugt, werden

1) Vgl. Eckenrode, Robert T.: Weighting Multiple Criteria, in: MS, Vol.12, 1965, S.181ff.

die Stärken verschiedener Stimuli ermittelt und paarweise verglichen. Daraus gewinnt man ein Maß für die relative Bedeutung der Stimuli, welches schließlich die Bildung einer Rangordnung erlaubt.¹⁾

Auf der Basis dieser Erkenntnisse wurden eine Reihe von auf dem paarweisen Vergleich von Objekten beruhende Verfahren konstruiert,²⁾ von denen hier nur das Halbmatrizenverfahren näher erläutert werden soll.³⁾

Bei diesem Verfahren werden die Beurteilungsobjekte sowohl in Kopfzeile und -spalte einer Matrix in übereinstimmender Reihenfolge angeordnet.

Projekte	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	W ₁	N ₁	R ₁	R' ₁
O ₁	-	1	3	4	1	1	3			3
O ₂		-	3	4	2	0	1	1		4
O ₃			-	4	3	3	4			2
O ₄				-	4	4	5			1
O ₅					-	6	0			6
O ₆						-	1	1		4

Abb.11: Ermittlung einer Rangreihe von Beurteilungsobjekten nach dem Halbmatrizenverfahren

Quelle: Meierhofer, Lukas: Projektselektion in der Forschungsförderung, Diss.Basel 1983, S.48

- 1) Vgl. Thurstone, L.L.: A Law of Comparative Judgement, in: Psychological Review, Vol.34, 1927, S.272-286, zitiert bei: Brockhoff, Klaus: Forschungsprojekte und Forschungsprogramme: Ihre Bewertung und Auswahl, a.a.O., S.377.
- 2) Zu den Verfahren s.u.a.: Eckenrode, Robert T., a.a.O., S.181ff; Torgerson, Warren S.: Theory and Methods of Scaling, 7.Aufl., New York 1967, S.159ff; Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; U.Humme; W.Lohrberg; W.Plinke; W.Schreiner: Multivariate Analysemethoden, 3.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1985, S.269-271
- 3) Zum folgenden vgl. insbes.: Strebel, Heinz: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, Baden-Baden 1975, S.95ff; ders.: Innovation und ihre Organisation in der mittelständischen Industrie - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, a.a.O., S.46ff; Theesen, Ephratus, a.a.O., S.90ff; Meierhofer, Lukas, a.a.O., S.47ff; Dathe, H.M.: Moderne Projektplanung in Technik und Wissenschaft, München 1971, S.54ff.

Zeilenweise wird anschließend geprüft, ob das Objekt in der ersten Spalte den Vergleichsobjekten überlegen ist oder nicht. Die Kennzahl des überlegenen Objektes wird sodann in das jeweilige Feld der Matrix eingetragen. Jedes Objekt wird mit jedem anderen nur einmal verglichen, daher fallen Eintragungen unterhalb der Diagonalen nicht an. In obiger Abbildung wird z.B. deutlich, daß Objekt 1 höher als Objekt 2 bewertet wird. Erscheint wie bei dem Vergleich von O_2 und O_6 eine Null, bedeutet dies die Gleichbewertung beider Objekte.

Die Zählung der Häufigkeit des Vorkommens jedes Objektindex ergibt das Maß für die Rangordnung eines Bewertungsobjektes.

In Abb. 11 ergibt die Addition der die Überlegenheit der Objekte aufzeigenden Kennzahlen in Zeilen und Spalten für das vierte Objekt den Wert 5. Dieser wird auf der rechten Seite der Matrix unter W_i als Maß für die relative Bedeutung des Objektes i eingetragen. Verfährt man so über alle Objekte, ergibt sich über die Häufigkeitsverteilung der Nennungen eine Ordnung der Objekte gemäß ihrer ordinalen Wichtigkeit.

Fallen keine Gleichgewichtungen an, ergibt sich eine strenge Ordnung der Beurteilungsobjekte, wobei deren jeweiliger Rangplatz sich bestimmt nach:

$$(2.4) \quad R_i = m - W_i \quad \text{mit: } m = \text{Anzahl der Objekte} \\ W_i = \text{ordinale Wichtigkeit des Objektes } i$$

Je niedriger diese Differenz, desto höher der Rang.

Das als am vorteilhaftesten bewertete Objekt belegt Rang 1. Eine nur schwache Ordnung ergibt sich allerdings, wenn Gleichgewichtungen vorkommen. In einer gesonderten Spalte werden die Nullwertungen (N_i) registriert und der Rangplatz eines Objektes dann bestimmt über:

$$(2.5) \quad R_i^1 = m - W_i - N_i$$

Alle auf den oben erwähnten Verfahren basierenden Beurteilungen beruhen auf stark von der subjektiven Empfindung des Entscheidenden geprägten Urteilen. Mangelnde Rationalität sowohl des Bewertungsvorgangs als auch des Ergebnisses fordern ein mehr formalisiertes Beurteilungssystem, da nur dann die Entstehung eines Urteils geprüft und nachvollzogen werden kann.

Eine nicht auf operationalen Entscheidungsgrundlagen beruhende Beurteilungsmethode ist in ihren Ergebnissen nicht nachvollziehbar. Werden verschiedene Einzelpersonen oder Gremien zur Beurteilung verschiedener Objekte herangezogen, kann die Güte deren Urteile nicht abgewogen werden, da ein einheitlicher Vergleichsmaßstab fehlt. Gegen Methoden des Paarvergleichs ist auch der mit zunehmender Objektzahl überproportional steigende Arbeitsaufwand anzuführen. Wird ein Vergleich über alle Objekte vorgenommen, sind bei m Objekten $\binom{m}{2}$ Objektpaare zu beurteilen. Bei 5 Objekten sind nur 10 Paarvergleiche, bei 100 Objekten aber schon 1950 Paarvergleiche vorzunehmen.

2 3 8 Mehrdimensionale Beurteilungsverfahren

2 3 8.1 Überblick

Die Schwierigkeiten der Datenerfassung und die Mängel der Verfahren zur direkten Bestimmung des Erfolges von FE oder ihrem Beitrag zum Unternehmensziel, sowie die Einschränkungen in der Aussagefähigkeit abgeleiteter Effizienzmaße, bilden die Grundlage für die Entwicklung weiterer subjektiver Bewertungsmethoden. Vorschläge in dieser Richtung beziehen sich auf die Einstufung von Forschern, FE-Teams oder FE-Abteilungen entweder durch diese selbst, durch die Unternehmensleitung, Konkurrenten oder unabhängige Gutachter, sog. Peers. Analytische Hilfsmittel zur Durchführung derartiger Beurteilungsvorgänge sind zumeist Kriterienlisten oder Nutzwertanalysen in der Form von Abhak- oder Prüflisten (sog. Checklists), Wertprofilen, ungewichteten Punktbewertungsmethoden oder Punktbewertungsverfahren mit Gewichtungsfaktoren auf nur einer oder auch mehreren Stufen.

Probleme dieser Kategorie von Effizienzermittlungsmethoden liegen zum einen in der Auswahl eines der im folgenden näher zu diskutierenden Verfahrens und zum anderen in der Bestimmung der Person oder Gremien, welche die Analyse durchführen sollen.

2 3 8.2 Checklisten

Eine Checkliste ist ein möglichst alle für die Beurteilung eines Objekts relevanten Sachverhalte erfassendes Prüfinstrument, wobei jeder einzelne in Betracht gezogene Sachverhalt zur Ableitung rationaler Entscheidungen operational formuliert sein sollte¹⁾. Die einzelnen Sachverhalte bzw. Beurteilungsgesichtspunkte können dabei verschiedenartig ausgestaltet sein.

Bei nicht graduell abstufbaren Informationen muß sich die Untersuchung darauf beschränken, das Erfüllen bzw. Nicht-Erfüllen eines geforderten Kriteriums zu konstatieren. Liegt eine Abstufungsmöglichkeit vor, werden weitergehende, ordnungsfähige Gliederungen möglich, die wie eine Notenskala wertmäßige Unterscheidungen zulassen.

Wieder andere Checklists enthalten Kriterien, die möglichst genau und umfassend beschrieben werden sollen. Ein qualitatives Urteil wird dort auf der Ebene des einzelnen Beurteilungsmerkmals nicht verlangt, vielmehr dienen solche Listen der informativen Fundierung konkreter Auswahlprozesse, indem sie bei sorgfältiger Beachtung aller wichtiger Punkte eine systematische, gründliche und für alle zu untersuchenden Objekte gleichermaßen gültige Untersuchung erlauben.

Ihre einfache Handhabung hat zur Anwendung von Kriterienlisten nicht nur bei der Bewertung von FE-Institutionen geführt, vielmehr werden diese auch eingesetzt zur Beurteilung von FE-Projekten und Innovationen,²⁾ sowie zur Fundierung einer Auswahlentscheidung von Unternehmensbeteiligungsalternativen.³⁾ Auch zur Beurteilung von Wissen-

-
- 1) Vgl. Brockhoff, Klaus: Scoring Modelle in der Forschungsplanung, in: ZfbF-Kontaktstudium 28, 1976, S.206
 - 2) Vgl. Strebel, Heinz: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, a.a.O., S.31f; Augood, Derek R., a.a.O., S.114; Burgess, Ralph E.: Criteria For The Evaluation of Industrial Scientific Research, in: Blood, Jerome (Hrsg.), a.a.O., S.231; Feudenmann, Helmut, a.a.O., S.148
 - 3) Vgl. Walter, Herbert: Venture Capital in Deutschland, in: Die Bank, 23.Jg., 1983, S.565; Schierenbeck, Henner: Beteiligungsentscheidungen, Berlin 1973, S.142ff.

schaftlern wurden in einigen Ansätzen Kriterienkataloge mit dahinter geschalteten Ratingskalen eingesetzt.¹⁾

Die Ergebnisse der Auswertung solcher Listen werden sowohl von der Zahl der Beurteilungsmerkmale als auch von der Feinheit ihrer Gradmessungen beeinflusst. Mehrfachzählungen ähnlicher Aspekte sind ebenso zu vermeiden wie die Berücksichtigung unwichtiger oder die Nicht-Berücksichtigung wesentlicher Merkmale.

Auch nach Durchführung von Checklist-Untersuchungen wird sich nicht immer eine Rangfolge von Bewertungsobjekten derart finden lassen, daß ein Objekt gegenüber anderen Objekten bezüglich aller Kriterien vorteilhafte Ausprägungen aufweist. Sind aber die Beurteilungskriterien und ihre relative Bedeutung nicht empirisch abgeleitet, sondern aufgrund subjektiver Überlegungen in der Liste berücksichtigt worden, besteht die Gefahr der bewußten oder unbewußten Bevorzugung umso mehr, als der Entscheidungsprozeß wegen mangelnder Formalisierung nicht nachvollziehbar ist.²⁾ Im Interesse der Minimierung subjektiver Einflüsse auf die Bewertung ist der Auswahl des Bewerter oder des Bewertungsgremiums besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

-
- 1) Vgl. Balderston, Jack: A Performance and Salary Review - System for Scientists, in: RM, Vol.8, 1964, S.209-224; Friedlander, F.: Performance Orientation of Research Scientists, Unpublished Paper, Case Western University 1970
 - 2) Vgl. Brockhoff, Klaus: Scoring-Modelle in der Forschungsplanung, a.a.O., S.206; Strebel, Heinz: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, a.a.O., S.32f; Cooper, R.G.: The Dimension of Industrial New Product Success and Failure, in: Journal of Marketing, Vol.43, 1979, S.93

2 3 8.3 Wertprofile

Wird ein Linienweg durch alle merkmalspezifischen Ausprägungen gelegt, entsteht ein Profil, welches das zu beurteilende Objekt charakterisiert. Ein derartiger Linienweg zeigt bildlich die Ausprägung oder den Erfüllungsgrad jedes Kriteriums und erleichtert eine Beurteilung dadurch, daß komplexe Bewertungsprobleme auf zwei Dimensionen reduziert werden.¹⁾ Bei den einzelnen Objekten erlaubt das Profil einen schnellen Überblick über seine Stärken und Schwächen. Der Vorteil der relativ einfachen Konstruktion solcher Wertprofile hat auch hier zu einer Fülle von Anwendungsvorschlägen, besonders im Bereich der mit großen Unsicherheiten behafteten FE-Projektbewertung, geführt.²⁾

Ein rational ableitbares Gesamturteil über ein mit anderen zu vergleichendes Objekt folgt nicht unmittelbar aus dem Wertprofil, zumal bei einer großen Zahl von Beurteilungskriterien und zu beurteilenden Objekten eine Fülle verschiedener Linienzüge entstehen kann. Die Vielzahl der so entstehenden optischen Eindrücke erschwert eine Differenzierung der einzelnen Objekte im Sinne einer Rangfolgenbildung. Wie bei der Verwendung von Checklisten besteht auch hier die Gefahr der Verzerrung der gewonnenen Ergebnisse dadurch, daß einerseits alle Merkmale nur mit einfachem Gewicht berücksichtigt werden, diese aber durchaus unterschiedliche Bedeutung für die Bewertung der Objekte haben können, und andererseits Gewichtungsverzerrungen auftreten

1) Vgl. Reuter, Joachim F.: Verfahren zur betrieblichen Entscheidung über den Forschungs- und Entwicklungsaufwand, in: ZfbF, 38.Jg., 1968, S.535

2) Vgl. Strebel, Heinz: Innovation und ihre Organisation in der mittelständischen Industrie - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, a.a.O., S.43f; Harris, J.S.: New Product Profile Chart, in: Chemical and Engineering News, Vol.39, 1961, S.110-118; Villers, R.: Research and Development: Planning and Control, New York 1964, S.44ff; Schlegel, Harto: Produktbewertungsmodelle, in: WiSt, 4.Jg., 1975, S.469ff; Kern, Werner und Hans-Horst Schröder, a.a.O., S.219ff; Zangemeister, Christof: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 4.Aufl., München 1976, S.289ff.

können, wenn mehrere Kriterien in ähnlicher Richtung beeinflußt werden.

Werden alle Merkmale, wie häufig vorgeschlagen, nur auf einer ordinal abgestuften Skala, z.B. von sehr gut über gut, durchschnittlich, schlecht bis sehr schlecht erfaßt, können wertvolle Informationen verschenkt werden, da sich viele Kriterien einer Checkliste lassen häufig quantitativ erfassen lassen. Durch die Transformation in eine beispielsweise fünfstufige, nicht näher definierte Rangskala gehen aber exakte, quantitativ erfaßte Informationen verloren.

2 3 8.4 Punktbewertungsmethoden, Nutzwertanalysen

Methoden der rein quantitativen Bewertung von FE sind in ihren Anwendungsmöglichkeiten dadurch beschränkt, daß die dafür verwendeten Eingabedaten in der Mehrzahl der Fälle nicht mit der notwendigen Genauigkeit beschafft werden können.¹⁾ Zudem gelingt oftmals nicht die Überführung der Wirkungen spezifischer Einflußfaktoren auf einen einzelnen Bemessungswert. Gleichzeitig bilden aber auch ganzheitliche Bewertungsmethoden wegen des unstrukturierten Entscheidungsprozesses keine rationale Grundlage für derartig komplexe Bewertungsvorgänge, wie sie im FE-Bereich eines Unternehmens vorzunehmen sind.

Punktbewertungsmodelle bieten zwischen diesen Verfahren einen Mittelweg. Zwar bleibt auch hier Spielraum für subjekte Elemente, die Struktur der Modelle weist aber einen wesentlich höheren Formalisierungsgrad auf, weil sie zumindest formal, wenn auch nicht immer inhaltlich, transparent sind.

Charakteristisch für Punktbewertungsverfahren, auch Scoring- oder Nutzwertanalysen genannt, ist die Auflösung einer komplexen Bewertungsproblematik in einfache Teilaspekte, die Bewertung dieser einzelnen Aspekte und deren

1) Vgl. Schröder, Hans-Horst: The Quality of subjective Probabilities of technical Success in R+D, in: RDM, Vol.6, 1975, S.15

anschließende Zusammenfassung in einem dimensionslosen Index.¹⁾ Die multidimensionalen Einflußfaktoren, z.B. technischer, ökonomischer oder sozialer Art, werden zu eindimensional bewertbaren Kriterien operationalisiert und strukturiert, deren messende Bewertung auf der Basis von Nutzenfunktionen oder zumindest Nutzenvorstellung auf der Maßgröße Nutzen erfolgt. Über bestimmte vorher festzulegende Entscheidungsregeln können sowohl subjektive Informationen über die Wertvorstellungen der Entscheidungsträger, als auch objektive Informationen durch Erfassung der Umweltzustände berücksichtigt werden.²⁾ Nutzwertanalysen sind gewissermaßen auf alle Problemstellungen anwendbar, bei denen Bewertungen und Vergleiche von Alternativen durchgeführt werden müssen. Die allgemeine Ablauflogik bleibt zwar in jedem Falle gleich, die konkreten Formen der Modelle können sich aber in verschiedenen Punkten durchaus unterscheiden, da ihre flexible Handhabung eine Anpassung an die unterschiedlichsten Entscheidungssituationen erlaubt.

Entsprechend weit gefächert ist auch die Palette der Anwendungsbereiche der Scoring-Modelle, die von der Bewertung von FE-Projekten und Produktkonzepten³⁾ bis zur Landes- und Landschaftsplanung⁴⁾ reicht.⁵⁾

-
- 1) Vgl. Bechmann, A.: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, Bern - Stuttgart 1978, S.21.
 - 2) Vgl. Baumann, K.: Die Anwendung nutzwertanalytischer Methoden in der Praxis, Diss.Bern 1979, S.12f.
 - 3) s.u.a. die Modelle von: Hart, A.: A Chart for Evaluating Product Research and Development, in: Operational Research Quarterly, Vol.17, 1966, S.347-358; O'Meara, J.T.: Selecting Profitable Products, in: HBR, Vol.39, H.1, 1961, S.83-89; Dean, Burton V. und M.J.Nishry, a.a.O., S.550-569; Gargiulo, G.R.; J.Hannoch; D.B. Hertz; T.Zang: Developing Systematic Procedures for Directing Research Programs, in: IRE, Vol.EM-8, 1961, S.24-29; Goodwin, P.G.: A Method for Evaluation of Subsystems Alternate Designs, in: IEEE, Vol.EM-19, 1972, S.12-21; Hertz, David B und Philipp G.Carlson, a.a.O., S.170-188; Mottley, C.M. und R.D.Newton: The Selection of Projects for Industrial Research, in: Operations Research, Vol.7, 1959, S.740-751; Pound, W.H., a.a.O., S.16-22
 - 4) s.Bechmann, A., a.a.O., und Kunze, Dieter M.; Hans

Einen Überblick der einzelnen Schritte zur Bewertung von Objekten im Rahmen der Nutzwertanalyse gibt Abb. 12.

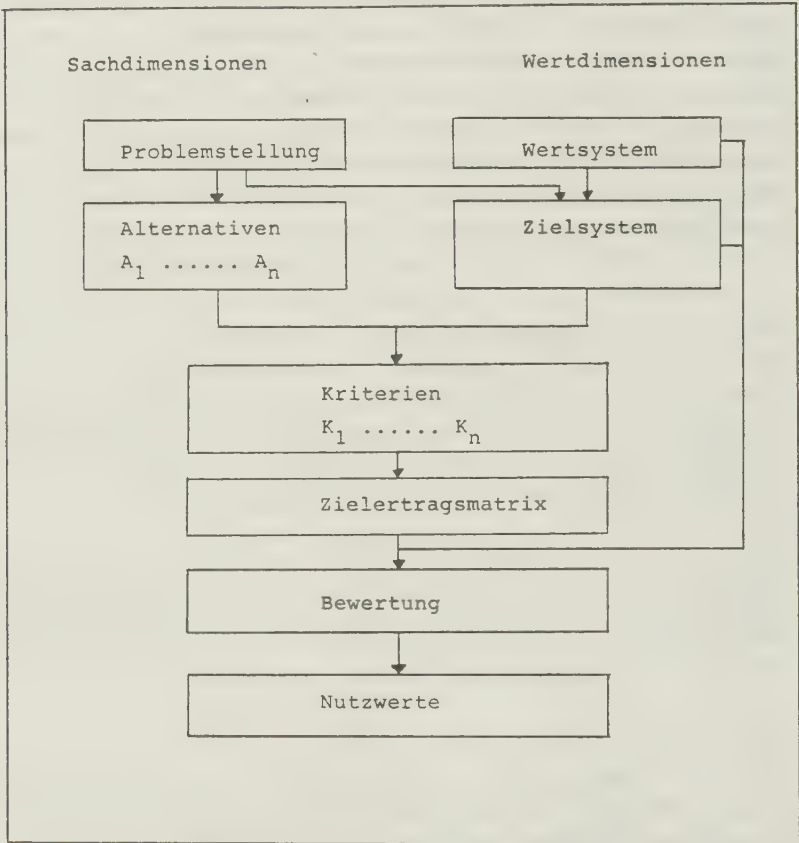


Abb. 12: Allgemeines Ablaufschema der Nutzwertanalyse

Quelle: Bechmann, A., a.a.O., S.27

-
- Dieter Blaneck; Detlev Simon: Nutzwertanalyse als Entscheidungshilfe für Planungsträger, KTBL-Schrift 184, 2.Aufl., Hiltrup 1974
- 5) Eine umfassende Übersicht der verschiedensten Anwendungsgebiete gibt: Dreyer, Arend: Scoring Modelle bei Mehrfachzielsetzungen, in: ZfB, 1974, S.258.

Zunächst wird aus der konkreten Problemstellung heraus ein Zielsystem gebildet, auf dessen Basis bewertet werden soll. Die zu bewertenden Alternativen werden bezüglich dieses Zielsystems anschließend durch Bewertungskriterien beschrieben. Für jedes dieser zumeist in verschiedenen Dimensionen vorliegenden Kriterien werden die Zielerträge bestimmt und in dimensionslose Zielerfüllungsgrade transformiert. Daraus ergeben sich die aus der Sicht des Bewerter ermittelten Teilnutzenenerträge, die über eine Aggregation den Gesamtnutzen einer Alternative bilden.¹⁾

Die Grundstruktur der Scoring Modelle bzw. Nutzwertanalyse beinhaltet also folgende Stufen:

1. Bestimmung der Bewertungsobjekte
2. Auswahl der Beurteilungskriterien
3. Bewertung der Kriterien
4. Gewichtung der Kriterien
5. Zusammenfassung der Kriteriengewichtungen
6. Aufstellung der Rangreihe der beurteilten Objekte

ad 1 Objektbewertungen im Rahmen von Scoring Modellen erfordern zunächst die Erfassung der im Rahmen der konkreten Zielsetzung vorhandenen Bewertungsobjekte sowie deren eventuell vorhandene gegenseitige Abhängigkeiten. Ausgangspunkt für die weitere Analyse ist schließlich eine endliche Menge sich ausschließender Alternativen, die hinreichend definiert und elementar in dem Sinne sind, daß sie jeweils die kleinsten zu unterscheidenden Einheiten bilden.²⁾

ad 2 An die Kriterien werden bestimmte Anforderungen gestellt, die sie zu erfüllen haben, soll das Modell seine bestmögliche Aussagekraft erhalten.³⁾ Es müssen grundsätzlich nicht alle Merkmale bezüglich eines Objektes erfaßt werden, sondern nur die, welche entscheidungsrelevant sind und Auswirkungen auf die

1) Vgl. Bechmann, A., a.a.O., S.26ff.

2) Vgl. Dreyer, Arend, a.a.O., S.256

3) Vgl. Czayka, Lothar: Prinzipielle Probleme der Bewertung forschungspolitischer Alternativen, a.a.O., S.60f.

Bewertung haben. Die Kriterien müssen einer grundsätzlichen Messbarkeit unterliegen und alle relevanten Tatbestände zwar vollständig, aber nur einfach erfassen, d.h. die Kriterien müssen überschneidungsfrei und unabhängig in ihrer Nutzenstiftung sein. Diese Unabhängigkeit der Kriterien und ihrer Intensitäten untereinander muß vollständig oder, wo dies nicht möglich ist, weitestgehend erfüllt werden. Ein Aspekt der Bewertung würde z.B. durch die Aufstellung zweier Kriterien, die perfekt korreliert sind und im Grunde denselben Sachverhalt messen, unbeabsichtigt übergewichtet. Um eine Doppelgewichtung in diesem Fall zu vermeiden, dürfte nur eines der beiden Kriterien in die Bewertung eingehen.¹⁾ Zur Vermeidung solcher, die Ergebnisse verfälschenden gegenseitigen Einflüsse müssen die Kriterien beim Vorliegen von Zwei- oder Mehrfachzählungen ähnlicher Aspekte einer erneuten Prüfung und Neuformulierung unterzogen werden. Ein Vorschlag zur Vermeidung falscher Gewichtungen geht dahin, nur solche Kriterien zu wählen, deren Intensität das letzte Glied einer Kausalkette bildet. Wenn nämlich Rückwirkungen des Endgliedes auf vorgelagerte Glieder vernachlässigt werden können, stören wechselseitige Einflüsse zwischen den Gliedern selbst nicht.²⁾ Eine andere Möglichkeit, die ungewollte Überbetonung bestimmter Aspekte zu vermeiden, ist die Extraktion unabhängiger Kriterien mittels einer Faktoren- oder Hauptkomponentenanalyse.³⁾ Lassen sich nicht gänzlich überschneidungsfreie Kriterien gewinnen, sollten die verbleibenden Interdependenzen über eine

1) Vgl. Meierhofer, Lukas, a.a.O., S.82.

2) Vgl. Strebel, Heinz: Scoring-Modelle als Entscheidungshilfen bei der Wahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, in: Layer, Manfred und Heinz Strebel (Hrsg.): Rechnungswesen und Betriebswirtschaftspolitik, Festschrift für Gerhard Krüger, Berlin 1969, S.256

3) s.zur Faktorenanalyse: Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; U.Humme; W.Lohrberg; W.Plinke; W.Schreiner, a.a.O., S.213-260

externe Gewichtung der Kriterien berücksichtigt werden.

Zur 'richtigen' Anzahl der Kriterien werden keine einheitlichen Angaben gemacht. In den verschiedenen, von Dreyer aufgelisteten Modellen zeigt die Übersicht eine Schwankungsbreite von 4 bis 242 Merkmalen.¹⁾ Grundsätzlich ist bei der Aufstellung eines Kriterienkataloges ein Optimum zwischen Vollständigkeit einerseits, Unabhängigkeit und Handhabbarkeit andererseits anzustreben.²⁾

Ist von den Entscheidungsträgern eine endliche Zahl von unabhängigen und für die Beurteilung relevanter Kriterien entwickelt worden, können diese durch die Bildung von Kriteriengruppen nach bestimmten Ordnungsgesichtspunkten vereint werden. Da industrielle FE wirtschaftlich verwertbares, wissenschaftlich-technisches Wissen hervorbringen soll, könnten die Kriterien beispielsweise in Gruppen eingeteilt werden, die auf der einen Seite technisch relevante und auf der anderen Seite wirtschaftlich relevante Aspekte erfassen. Dies erleichtert den Modellüberblick und schafft die Möglichkeit, beide Blöcke getrennt einer weiteren Gewichtung zu unterziehen.³⁾

- ad 3 Für alle Kriterien, die für die Bewertung ausgewählt worden sind, müssen der relevante Intensitätsbereich abgesteckt, die möglichen Intensitäten erfaßt und beschrieben sowie eine Bewertungsskala zur Messung der Intensitäten entworfen werden. Dies ist ein entscheidender Schritt im Bewertungsprozeß, da alle Objekte letztlich im Hinblick auf die Ausprägungen der Kriterienintensitäten charakterisiert werden. Geschieht die Festlegung der Klassen bei quantitativen Kriterien

1) Vgl. Dreyer, Arend, a.a.O., S.268

2) Vgl. Strebel, Heinz: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, a.a.O., S.57; Meierhöfer, Lukas, a.a.O., S.83f.

3) Vgl. Strebel, Heinz: Scoring-Methoden als Entscheidungshilfen bei der Wahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, a.a.O., S.256

durch Festlegung von wertmäßig erfaßbaren Ober- bzw. Untergrenzen und bei qualitativen Kriterien durch eine möglichst genaue Beschreibung des vorgesehenen Klasseninhalts, müssen alle Klassen so abgegrenzt werden, daß die Intensitäten innerhalb einer Klasse als gleichgewichtig angesehen werden können. Alle Intensitätsklassen müssen den gesamten Bereich der bewertungsrelevanten Ausprägungen eines Kriteriums über alle Alternativen abdecken.

Zur Bestimmung der Intensitäten sind zunächst die Skalen für die Intensitätsmessung zu bilden und ihre Inhalte festzulegen. Durch die Skalenbildung wird eine Fixierung der Zuordnung von Intensität und Kriteriums- ausprägung erreicht, die anschließend eine nur noch routinemäßige Messung der jeweiligen Intensität über alle Objekte nötig macht. Die Festlegung der Anzahl der Intervalle pro Kriterium ist ein psychometrisches Problem, da die Angemessenheit der Klassenzahl von der subjektiven Wertdifferenzierungsfähigkeit des Bewertenden abhängt.¹⁾ Diese ist bestimmend dafür, inwieweit verschiedene Intensitätsgrade unterschieden und bewertet werden können. Da ein derartiges Graduierungsvermögen aber von Person zu Person schwanken kann, ist eine sinnvolle Angabe der Klassenzahl nur situationsspezifisch möglich. Zu beachten ist auch, daß objektiv gleich Intensitätsgrade subjektiv unterschiedlich empfunden werden können.

Sind die Merkmalsausprägungen als Gegebenheiten eines Objektes festgelegt worden, ist als nächstes zu erfragen, welchen Nutzwert der Bewerter diesen Gegebenheiten jeweils beimißt. In den Scoring-Modellen wird als Ausdruck dieses Nutzempfindens jeder Merkmalsausprägung ein Punktwert zugeordnet. Mit dieser Zahl wird der Nutzen einer bestimmten Ausprägung eines Kriteriums erfaßt. Für jedes Kriterium besteht über alle

1) Vgl. Theesen, Ephratus, a.a.O., S.82

Intensitäten eine Nutzenverteilung, die in einer Bewertungsskala das subjektive Nutzenempfinden des Bewertenden über den Intensitätsverlauf zum Ausdruck bringt. Dieses Nutzenempfinden ist intersubjektiv nicht vergleichbar, weshalb sich bei gleichen Bewertungsobjekten unterschiedliche Wertungen ergeben können, wenn keine Einheitlichkeit des Urteilsremiums gewährleistet ist.

Unterschiedliche Bewertungsurteile können auch dem Charakter der Kriterien entspringen. Die Ausprägungen einiger Kriterien mögen sich direkt am Objekt feststellen lassen, bei anderen muß für eine Bewertung auf Erwartungen und Vermutungen zurückgegriffen werden. Auch diese können interpersonell differieren. Sie können aber auch in demselben Gremium über die Zeit verschieden ausfallen.¹⁾

Sind die einzelnen Intensitätsklassen jedes Kriteriums derart mit Punktwerten (Scores) belegt, daß jeweils der als am vorzuziehendsten erachteten Intensitätsklasse der höchste und den übrigen abgestuft nach der empfundenen Nutzbringung niedrigere Punktwerte zugeteilt werden, ist gleichzeitig eine Vereinheitlichung der multidimensionalen Kriterien auf ein einheitliches Skalenniveau geschehen, auf dessen Basis in weiteren Schritten die Verrechnung und Gewichtung der verschiedenen Kriterien erfolgt. Da die Scores Nutzenindices sind, verdeutlicht die Wahl der den Klassen beizulegenden Kardinalzahlen das Wertsystem bzw. die Auffassungen des Bewertungsremiums über Nutzenverlauf und -relationen. Zwischen zwei verschiedenen Gremien kann die Bewertung also nur übereinstimmen, wenn über alle Merkmale in jeder Klasse der gleiche Nutzen mit der gleichen Punktzahl bewertet wird. Somit hängt die Aussagekraft eines Modells entscheidend davon ab,

1) Vgl. Czayka, Lothar: Prinzipielle Probleme bei der Bewertung forschungspolitischer Alternativen, a.a.O., S.61

inwieweit das Gremium Nutzendifferenzen erkennen und beurteilen kann. Die Angemessenheit der Verteilung von Scores bleibt dabei für Außenstehende nicht feststellbar.¹⁾

Sind für alle Kriterien über ihr jeweilig als relevant erachtetes Intensitätsintervall hinweg Zuordnungsvorschriften in Bezug auf Klassenintensität und entsprechenden Nutzwert erfolgt, werden anschließend die konkreten Ausprägungen eines Objektes gemessen. Dazu wird bei allen Objekten für jedes Kriterium geprüft, welche Ausprägung am Objekt der auf der Skala vorgegebenen am nächsten kommt, d.h. es wird nur geprüft, ob ein bestimmtes Erscheinungsbild einer vorgegebenen Wertkategorie entspricht oder nicht.

Sind die Kriterien und Nutzenskalen erst vorgegeben, besteht in diesem Stadium der Messung der Kriterien nur geringer Spielraum für die u.U. von persönlichen Objektpräferenzen geleitete Verzerrung der Ergebnisse.

ad 4 Kann ein Scoring-Modell konstruiert werden, in dem gleichwertig empfundene Intensitätsklassen bei verschiedenen Kriterien auch mit gleichen Nutzeneinheiten belegt werden, erübrigt sich eine getrennt durchzuführende Gewichtung von einzelnen Kriterien oder Kriterienengruppen, da in diesem Fall die wertmäßige Bedeutung der einzelnen Kriterienaussprägungen in der Nutzenskala vollkommen zum Ausdruck kommt.

Wird ein derartiges Modell unterstellt, oder vernachlässigt man einfach die unterschiedliche Bedeutung einzelner Kriterienwerte für das Gesamturteil, werden lediglich den einzelnen Kriterien Punkte zugeordnet und diese in einem weiteren Schritt zu einem Gesamtpunktwert verdichtet.

1) Vgl. Strebel, Heinz: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, a.a.O. S.74; Bechmann, A., a.a.O., S.31

Bezeichnet N den Nutzen und k_i den Punktwert des i -ten Kriteriums, gilt je nach Regel für die Zusammenfassung (Amalgamation) der einzelnen Kriterienpunktwerte:

$$(2.6) \quad N = \sum_{i=1}^n k_i$$

oder

$$(2.7) \quad N = \prod_{i=1}^n k_i$$

Nur wenn keine ungewollte Überbetonung einzelner Aspekte vorliegt und alle Kriterien für die Beurteilung als gleichgewichtig angesehen werden, ist eine derartige Vorgehensweise gerechtfertigt. Kommt dem Punktwert eines Kriteriums nicht der gleiche Nutzen zu wie dem eines anderen Kriteriums, werden also in dem vorher erstellten Skalensystem die Nutzenrelationen der verschiedenen Intensitätsklassen nicht richtig zum Ausdruck gebracht, sind die einzelnen Kriterien gemäß ihrer Bedeutung mit einem Gewichtungsfaktor zu multiplizieren. Diese Gewichtungsfaktoren dienen der Umrechnung der unterschiedlichen Nutzeneinheiten in Standard-Nutzeneinheiten.

Ist g_i der Gewichtungsfaktor für das i -te Kriterium, lautet die Formel für den Gesamtnutzenindex:

$$(2.8) \quad N = \sum_{i=1}^n g_i \cdot k_i$$

bzw.

$$(2.9) \quad N = \prod_{i=1}^n g_i \cdot k_i$$

Daß ein Gewichten von Kriterien überflüssig wird, wenn das vorgegebene Skalensystem die Nutzenrelationen zweier Intensitätsklassen in den Skalen verschiedener Kriterien ihren Bedeutungen gemäß erfaßt, zeigt ein einfaches Beispiel:

Im Ergebnis besteht kein Unterschied, ob man ein Kriterium mit dem Faktor 2 gewichtet oder die entsprechende Nutzenskala so wählt, daß von vorne herein

allen Intensitätsklassen des Kriteriums die doppelte Punktzahl eines nur mit 1 gewichteten Kriteriums zugeteilt wird. Im letzteren Fall wird durch die Wahl der angemessenen Nutzenskala die Gewichtung unnötig.

Für die Bestimmung von Gewichtungsfaktoren kommen u.a. die Methoden der sukzessiven Paarvergleiche in Betracht, wobei sich bei der Durchführung der Vergleiche aus Gründen der Übersichtlichkeit insbesondere das Halbmatrizenverfahren eignet.¹⁾

Weitere Verfeinerungen bei der Arbeit mit Gewichtungsfaktoren bestehen in der Möglichkeit, Kriterien in Gruppen zusammenzufassen und diese Gruppen mit einem Faktor erneut zu gewichten.²⁾

Ist h_j der Gewichtungsfaktor für die j -te Kriteriengruppe und g_{ij} der Gewichtungsfaktor g für das i -te Kriterium aus der j -ten Gruppe, so gilt zusammengefaßt:

$$(2.10) \quad N = \prod_{j=1}^m h_j \prod_{i=1}^n g_{ji} k_{ji}$$

bzw.

$$(2.11) \quad N = \prod_{j=1}^m h_j \prod_{i=1}^n g_{ji} c_{ji}$$

Eine zweistufige Gewichtung zeigt zwar die Bedeutung von Hauptkriterien, erschwert aber das Erkennen des Einflusses von Einzelkriterien auf die Beurteilung von Objekten.

- ad 5 Die Aggregation der Einzelpunktwerte zu einem Gesamtnutzenindex kann additiv oder multiplikativ erfolgen. Beide Amalgamationsregeln unterscheiden sich hinsichtlich verschiedener Wirkungen auf das Bewertungsergebnis. So wird bei einigen Verfahren eine multiplikative Verknüpfung mit dem Argument bevorzugt, sie

1) Zur Darstellung des Halbmatrizenverfahrens s.o. Kap. 2 3 7
 2) Vgl. Geschka, H., a.a.O., S.146f.

erweitere das Spektrum möglicher Gesamtpunktzahlen und ließe dadurch eine leichtere Rangfolgenbildung der Objekte zu. Nachteilig kann sich aber diese Art der Amalgamation auswirken, wenn bei den Kriterien eine Bewertungsskala benutzt wird, die mit dem Wert Null beginnt. Erhält ein Objekt aufgrund einer sehr schlechten Bewertung bei einem Merkmal diesen Wert, so erhält die gesamte Bewertung den Wert Null, selbst wenn alle anderen Kriterien eine sehr positive Ausprägung aufweisen. Möglich ist also, daß ein überwiegend vorteilhaft einzuschätzendes Objekt aufgrund nur einer Nullbewertung und der fehlenden Kompensationsmöglichkeit am Ende der Rangfolge steht. Überhaupt schneiden bei Multiplikationen der Einzelpunktwerte die Objekte mit durchschnittlicher Einstufung tendenziell besser ab, als solche mit extremen Werten auf beiden Seiten der Beurteilungsskala.¹⁾ Dies gilt natürlich nur, wenn die Extremausschläge nicht über die Gewichtungsfaktoren wieder geglättet werden. Gegen die Multiplikationsregel wird außerdem vorgebracht, daß sie wesentlich empfindlicher als die Addition auf Schätzfehler reagiert.

Sind derartige Schätzfehler Ursache der großen Streubreite bei multiplikativer Verknüpfung, täuscht die Divergenz in den Gesamtnutzenwerten eine klare Rangordnung vor, die aber aufgrund der mangelhaften subjektiven Urteile objektiv nicht vorhanden ist.²⁾

Eine Kombination beider Amalgamationsregeln empfiehlt Strebel.³⁾ Die Punktzahlen aller Kriterien innerhalb von Kriteriengruppen sollen additiv und die errech-

-
- 1) Vgl. Moore, John R. und Norman R. Baker, a.a.O., S. B 220
 - 2) Vgl. Hennecke, Hans Ulrich: Verfahren zur Beurteilung von Vorschlägen für industrielle Forschungs- und Entwicklungsprojekte: Ihre Grenzen und Möglichkeiten, Diss. Saarbrücken 1975, S.153
 - 3) Vgl. Strebel, Heinz: Scoring-Methoden als Entscheidungshilfen bei der Wahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, a.a.O., S.274

neten Gruppenwerte für die Ermittlung der endgültigen Nutzwerte multiplikativ verknüpft werden. Auch bei diesem Verfahren ist auf die Kompensationsmöglichkeiten extremer Ausprägungen zu achten.¹⁾

Vor- und Nachteile der verschiedenen Aggregationsmethoden führen zu der Folgerung, daß ein bestimmtes Verfahren nicht grundsätzlich als vorzuziehend anzusehen ist. Die Wahl muß sich vielmehr an der fall-spezifischen Problemstellung und der Präferenzstruktur des Entscheidenden ausrichten.²⁾

ad 6 Nach vollständiger Durchführung aller Nutzenermittlungen über alle Bewertungsobjekte gelangt man zu einer mit der Objektmenge übereinstimmenden Zahl von Gesamtnutzenwerten, die entsprechend ihren Ausprägungen in eine Reihenfolge gebracht werden können. Das Objekt mit dem höchsten Index gilt als das am besten beurteilte, alle anderen schließen sich in der Folge der abnehmenden Nutzenwerte an.

Die Vorteile der Objektbewertung mit Hilfe von Scoring-Modellen, liegen in ihrer, nach durchgeführter Modellkonstruktion leichten Handhabbarkeit, in der Transparenz des Vorgehens, in der Möglichkeit, Einflußfaktoren verschiedener Dimensionen zu erfassen und ihre Interdependenzen in den Kalkül einzubeziehen. Weiterhin wird positiv bewertet, daß die Modelle flexibel ausgestaltet werden, problemadäquat definiert und dem jeweilig verfügbaren Informationsstand angepaßt werden können.³⁾

Kritikpunkte richten sich auf den großen Einfluß subjektiver Größen bei der Wertermittlung, die Ungenauigkeit der

1) Vgl. Kern, Werner und Hans Horst Schröder, a.a.O., S.216

2) Vgl. Meierhofer, Lukas, a.a.O., S.102

3) zur Problematik der Wahl geeigneter Skalentypen vgl. insbes.: Czyka, Lothar: Prinzipielle Probleme der Bewertung forschungspolitischer Alternativen, a.a.O., S.59-77

Eingabewerte und die Aussagekraft der ermittelten Gesamtnutzenindices.¹⁾

Der subjektive Einfluß im Bewertungsakt von Objekten im Rahmen dieser Modelle liegt zum einen in der Auswahl des für den Problembereich relevanten Kriterienkataloges und zum anderen in der Ableitung der Nutzenfunktionen, Kriteriengewichte und Amalgamationsregeln. Da grundsätzliche Verhaltensweisen hierfür analytisch nicht abgeleitet werden können, liegt die Wahl der entsprechenden Methoden im Ermessen der jeweiligen Entscheidungsträger. Zangemeister hält es für einen Vorteil der Nutzwertanalysen, daß "die problemimmanenten subjektiven Tatbestände von Entscheidungssituationen systematisch Berücksichtigung finden, indem die Vielfalt situationsrelevanter Ziele und die zugehörigen Präferenzen des Entscheidungsträgers explizit in die Entscheidungsanalyse einbezogen werden. Die damit notwendig verbundenen Wertungen, gedanklich kontrolliert und sachlich begründet vorzunehmen, in sämtlichen Zieldimensionen sichtbar zu machen und formallogisch befriedigend zu einer Gesamtaussage verarbeiten"²⁾ ist nach ihm eigentlicher Sinn und Zweck von Nutzwertanalysen. Da die subjektiven Wertvorstellungen von Entscheidungsträger zu Entscheidungsträger differieren, läßt sich demgemäß ein allgemeingültiges, für alle FE-Bewertungsfragen gleichermaßen anzuwendendes Scoring-Verfahren nicht angeben. Sowohl die Beurteilungsdimensionen, als auch der Verlauf der Nutzenskalen sind nur entscheidungsspezifisch zu ermitteln. Neben den subjektiven Wertvorstellungen hat auch die Fähigkeit der Bewerter, verschiedene Intensitätsgrade zu unterscheiden und zu bewerten, Einfluß auf die Ergebnisse.

1) Vgl. Freeman, Raoul, J.: Quantitative Methods in R&D Management, in: California Management Review, Vol.2, 1960, S.41; Hennecke, Hans Ulrich, a.a.O., S.158; Theesen, Ephratus, a.a.O., S.121ff; Geschka, H., a.a.O., S.149f.

2) Zangemeister, Christof: Nutzwertanalyse, in: Tumm, Günter W. (Hrsg.): Die neuen Methoden der Entscheidungsfindung, München 1972, S.285

Dadurch hängt die Qualität der Ergebnisse von Faktoren ab, die selbst bei umfassenden Modellen mit großer Kriterienzahl und breit gefächerten Intensitätsklassen nicht kontrollierbar sind.¹⁾ Aussagekraft erhält ein konkretes Modell nur für seinen jeweiligen Konstrukteur, intersubjektive Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Anwendungen gleicher Modelle auf gleiche Objekte besteht bei völlig divergierenden Nutzenauffassungen nicht. Letztlich mündet die Behandlung nicht - oder nur ungenau quantifizierbarer Daten in ähnlich subjektiven Schätzungen wie bei quantitativen Verfahren. Unterschiede bestehen lediglich in der Art ihrer analytischen Verarbeitung.

Ein weiterer, wichtiger Kritikpunkt fußt auf der mangelnden Aussagefähigkeit der Ergebnisse von Scoring-Modellen. Die ermittelten Nutzenindices besitzen für ein einzelnes Objekt keine Aussagekraft. Nur im Vergleich zu anderen Objekten können Urteile bezüglich der relativen Vorteilhaftigkeit anderer Alternativen abgegeben werden. Durch einen Vergleich mit den Ergebnissen anderer Bewertungsvorgänge läßt sich nur eine Rangfolge ordinaler Natur erstellen. Die Dimensionslosigkeit der Gesamtpunktwerte ermöglicht keinen Vergleich der Objekte im Hinblick auf ihren Beitrag zu einem in monetären Größen gemessenen Unternehmensziel wie Gewinn oder Rentabilität.²⁾ Die subjektiven Nutzenschätzung ermöglichen auch keine Ableitung allgemeiner Handlungsanweisungen, welche aus der Analyse von Stärken und Schwächen eines Objektes bei objektiver und damit besser vergleichbarer und nachvollziehbarer Beurteilung möglich wären. Da in die Gesamtpunktzahl nur der Durchschnittswert aller guten und schlechten Aspekte eingeht, verschwinden die besonderen Ausprägungen einzelner Objekte. Es ergibt sich daher auch kein Anhaltspunkt für typisch gute oder schlechte Ausprägungen, aus denen weitere Schlüsse gezogen werden könnten.

1) Vgl. Theesen, Ephratus, a.a.O., S.123

2) Vgl. Geschka, H., a.a.O., S.149.

Für einen aussagekräftigen Vergleich der Objektbeurteilungen und ihre Ordnung in einer Rangreihe muß nicht nur das Entscheidungsgremium über alle Objekte unveränderte Nutzenskalen anlegen, es muß vielmehr auch gewährleistet sein, daß immer genau das gleiche Verfahren mit unveränderten Kriterien verwendet wird. Die Bedeutung einzelner Kriterien kann sich aber im Zeitablauf ändern, oder es können völlig neue Aspekte bewertungsrelevant werden. Zu denken ist beispielsweise an Bestimmungen bezüglich des Umweltschutzes. Der Einbau solcher neuer Kriterien in ein Modell kann die Ergebnisse vorheriger Analysen erheblich verändern, zumal wenn einem derartigen Kriterium erhebliches Gewicht zuerkannt wird.

Grundsätzlich ist zwar die Anwendung nutzwertanalytischer Verfahren auf die hier zugrunde liegende Fragestellung denkbar, zu prüfen bleibt aber, ob nicht andere Verfahren mit größerer Aussagekraft und unmittelbarem Bezug zum Unternehmensziel gefunden werden können.

2 4 Individuelle versus multipersonale Urteilsfindung

Ein Aspekt, der in den bisherigen Ausführungen noch wenig zur Sprache kam, jedoch großen Einfluß auf die Ergebnisse qualitativer Analysemethoden haben kann, ist die Art und Zusammensetzung des jeweiligen Entscheidungsgremiums.

Ist eine Effizienzbeurteilung industrieller FE durchführbar, die sich an rein quantitativen und genauen, d.h. einwertigen Daten, orientiert, erübrigt sich eine Betrachtung des Beurteilungsgremiums, wenn in jedem Fall das gleiche Verfahren verwendet wird. Da kein Spielraum für Verzerrungen durch den Einbau subjektiver Wertvorstellungen besteht, müssen die Ergebnisse immer übereinstimmen.

Die bisher vorgestellten Erfolgsermittlungsmethoden behalten aufgrund des unsicheren und risikobehafteten Charakters der FE aber alle mehr oder weniger große Freiräume für Schätzurteile. Die Qualität dieser Schätzungen kann mit den unterschiedlichen Beurteilungsgremien differieren. Je nachdem welches Gremium beurteilt und wie dieses zusammengesetzt ist, sind unterschiedliche Einstufungen bezügl. der FE zu erwarten.

Als Institutionen zur Durchführung einer Beurteilung kommen in Bezug auf die konkrete Fragestellung die FE-Abteilung des jeweiligen Unternehmens selbst, die Unternehmensleitung, außenstehende Experten oder die Konkurrenten in Betracht. Das Entscheidungsgremium kann im Extremfall aus nur einer beurteilenden Person bestehen, es können aber auch mehrere Personen oder Gruppen, z.B. nur Techniker oder Wissenschaftler oder nur im wirtschaftlichen Bereich eines Unternehmens Tätige oder ein gemischtes Gremium, in Frage kommen. Mansfield u.a. führten eine Untersuchung durch, in der insgesamt 19 Unternehmen der Chemie- und Petroleumindustrie bezügl. der Effizienz ihrer FE von den jeweiligen Forschungsdirektoren und unabhängigen Universitätsprofessoren eingestuft wurden. Bei den Urteilen der verschiedenen Gruppen ergab sich eine hohe Übereinstimmung in den Einstufungen mit Korrelationskoeffizienten von i.d.R. 0.6 oder mehr.¹⁾ Von einem anderen Projekt berichten Pönsen und Hort, in welchem Einstufungen von den FE-Abteilungen selbst und von den Unternehmensleitungen vorgenommen wurde. Dabei konnten sie nur geringe Übereinstimmungen der Ergebnisse feststellen.²⁾

Generell kann nicht davon ausgegangen werden, daß die Urteile verschiedener Arten von Gremien oder auch von gleichen Gremien, aber mit unterschiedlicher personeller Besetzung, übereinstimmen. So können Bewertungsunterschiede zwischen Unternehmensleitung und FE-Abteilung daraus resultieren, daß die in der FE-Abteilung Beschäftigten in der Einschätzung ihrer eigenen Arbeit unvermeidlich Fehler aufgrund der Subjektivität der Selbstattribuierung machen werden. Fraglich ist weiterhin, ob Konkurrenten einen derart tiefen Einblick in die FE-Labors anderer Unternehmen haben, daß sie ein umfassendes Urteil über deren Effizienz abgeben können. Ähnlich wie bei der Befragung von Experten

-
- 1) Vgl. Mansfield, Edwin; John Rapoport; Jerome Schnee; Samuel Wagner; Michael Hamburger: Research and Innovation in the Modern Corporation, New York 1971, S.29ff.
 - 2) Vgl. Pönsen, Otto H. und Helmut Hort: FE-Aufwand, Firmensituation u. Firmenerfolg, in: ZfbF, 35.Jg., 1983, S.75

besteht auch die Gefahr der Bewertung nicht aufgrund von Leistungen und Verdiensten, sondern von Reputation. Ansehen allein und hoher Bekanntheitsgrad können eine Art "Halo-Effekt" bewirken, wenn das Bewertungsobjekt im kognitiven Bezugsrahmen des Urteilenden liegt. Divergenzen in den Ergebnissen treten bei Expertenbefragungen auch interpersonell auf. Verschiedene Untersuchungen zur Beurteilung wissenschaftlicher Arbeiten ließen nur eine geringe Übereinstimmung von Urteilen verschiedener Gutachter erkennen.¹⁾

Zur Durchführung von Effizienzanalysen wird häufig eine Trennung derart durchgeführt, daß auf der einen Seite der Konstrukteur des Systems, dessen Wertestruktur und Präferenzsystem in dem Modell berücksichtigt ist, und auf der anderen Seite der Beurteiler oder Anwender des Modells steht. Beide Funktionen können von einzelnen Individuen ausgeführt werden, wobei jedoch in der Regel Gremien anzutreffen sind, die aus Vertretern zumeist mehrerer Funktionsbereiche zusammengesetzt sind. Im Gegensatz zu Individuallösungen, wo jeder Akteur eine eigene Entscheidung trifft, muß bei Beteiligung mehrerer Personen an der Entscheidungsfindung ein Konsens gefunden werden, wobei das Kollektiv selbst als alleiniger Akteur oder Beurteiler in Erscheinung tritt.²⁾ Unterscheiden sich Werthaltungen und Präferenzen, müssen bei Konstruktion und Anwendung eines Modells Mechanismen gefunden werden, wie die unterschiedlichen Ansichten zu einem kollektiven Wertsystem verschmolzen werden können. Rationale Mechanismen zur Ableitung eines kollektiven Wertsystems aus mehreren individuellen

-
- 1) Vgl. Cole, S; J.R.Cole; G.A.Simon: Chance and Consensus in Peer Review, in: Science, Vol.214, 1981, S.881-886; schlechte Ergebnisse zur Beurteilung abgeschlossener Arbeiten brachten ebenfalls Untersuchungen von: Mahoney, M.M.: Publication Prejudices: An Experimental Study of Confirmation Bias in the Peer Review System, in: Cognitive Therapy and Research, Vol.1, 1977, S.161-175 und Bowen, D.C.; R.Perloff; J.Jacoby: Improving Manuscript Evaluation Procedures, in: American Psychologist, 1972, S.221-225
 - 2) Vgl. Gäfgen, Gérard: Theorie der wissenschaftlichen Entscheidung, 3.Aufl., Tübingen 1974, S.184

Wertsystemen werden als "Sozialwahlfunktion"¹⁾ (SWF) bezeichnet.

Die Notwendigkeit der Aufstellung eines solchen Mechanismus entfällt bei multipersonaler Entscheidungsfindung in den Fällen, wo die Meinung eines Gruppenmitglieds als für die anderen maßgebend und bestimmend angesehen wird oder die individuellen Wertsysteme nicht voneinander divergieren, wo also jedes einzelne Wertsystem mit dem kollektiven Wertsystem deckungsgleich ist.²⁾ In allen anderen Fällen muß die Lösung in Form eines Kompromisses gesucht werden, der die einzelnen Wertsysteme zu weitestgehender Übereinstimmung bringt. Bevor jedoch auf eine SWF zurückgegriffen werden muß, kann zunächst die Herbeiführung eines Konsens über Diskussionen versucht werden. Ein weiteres Hilfsmittel zur stufenweisen Annäherung unterschiedlicher Standpunkte sind Techniken, die auf der Delphi-Methode basieren.³⁾

Kann anhand dieser Techniken keine angemessene Basis gefunden werden, muß versucht werden, über eine SWF zu einem Kollektivurteil zu gelange. Dazu werden zunächst die Urteile jedes Gremiummitglieds dargestellt und anschließend über festgesetzte Regeln zusammengefaßt. Die SWF kann anschließend aus einer Abstimmungsregel bestehen, welche für die Annahme eines Vorschlags die Mehrheit in der Gruppe erfordert.⁴⁾ Alternativ dazu empfiehlt sich besonders bei Scoring-Modellen die Ermittlung eines Durchschnittswertes der entsprechenden Individualurteile.

Die Aussagekraft dieser Verfahren wird einerseits dadurch eingeschränkt, daß vielerlei Einflüsse auf die Beurteilung besonders von ungewissen Situationen wirken können.⁵⁾

1) Gäfgen, Gérard, a.a.O., S.177

2) Vgl. Strebel, Heinz: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, a.a.O., S.120

3) zur Delphi-Methode s.: Brockhoff, Klaus: Delphi-Prognosen im Computer-Dialog, Tübingen 1979, insbes. S.1-26 und Dalkey, N.C.; O.Helmer: An Experimental Application of the Delphi-Method to the Use of Experts, in: MS, Vol.9, 1963, S.458-464

4) Vgl. Strebel, Heinz: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, a.a.O., S.124.

5) Zur Diskussion potentieller Einflüsse auf eine Gruppenentscheidung s.: Brockhoff, Klaus: Zur Erfassung der Ungewißheit bei der Planung von Forschungsprojekten, in: Hax, Herbert (Hrsg.): Entscheidung bei unsicheren

Andererseits wird weder die Frage nach der Vergleichbarkeit der einzelnen Urteile gestellt, noch auf die Streuung der Einzelurteile besonders geachtet.¹⁾ Dabei können aber gerade in einem multifunktional zusammengesetzten Beurteilungsgremium, in dem z.B. technische und wirtschaftliche Experten zusammensitzen, erhebliche Wertsystemdifferenzen auftreten.²⁾

Erwartungen, Köln und Opladen 1970, insb. S.167-177 und ders.: Prognoseverfahren für die Unternehmensplanung, Wiesbaden 1977, S.75-86

- 1) Vgl. Meierhofer, Lukas, a.a.O., S.109f.
- 2) Vgl. Souder, William E.: Achieving Organizational Consensus with Respect to R+D Project Selection Criteria, a.a.O., S.669.

2 5 Allgemeine Kritik der Verfahren im Hinblick auf die Anforderungen an ein System zur Forschungs- und Entwicklungs-Effizienzermittlung

Die dargestellten Effizienzbeurteilungsverfahren erfüllen in verschiedener Hinsicht nicht die Erwartungen hinsichtlich Anwendbarkeit, Zuverlässigkeit und Aussagekraft, welche vom unternehmensinternen Management oder externen Bewertern an eine derartige Methode gestellt werden.

Zur Frage der Inputmessung bleibt anzumerken, daß sich der Großteil der in der Literatur vorgestellten Ansätze darauf beschränkt, lediglich den in Wert- oder Mengengrößen gemessenen Produktionsfaktoreinsatz zu erfassen, ohne auf die dem FE-Prozeß immanenten Besonderheiten einzugehen. Nicht nur eine Veränderung von Menge oder Wert der Einsatzmittel haben einen Einfluß auf die Ausbringung der FE-Abteilung, auch anderen Variable, z.B. aus dem organisatorischen Bereich, wirken auf die Effizienz einer FE-Abteilung.

Auch bereitet die Bestimmung eines Outputmaßes Probleme. Die genannten Vorschläge umfassen immer nur Teilaspekte der FE-Ausbringung und können daher allenfalls nur grobe Näherungslösungen bieten.

Andere Methoden umgehen die erheblichen Quantifizierungsprobleme, indem sie Urteile auf qualitativer Basis propagieren. Die Subjektivierung der Dateninputs über Schätzungen erschwert aber die Vergleichbarkeit von Ergebnissen, wobei die Urteilsfindung häufig nicht nachzuvollziehen ist. In vielen Fällen besteht zwischen dem gewählten Maß für die Effizienzermittlung und dem Unternehmensziel keine direkte Beziehung, so daß auch nach einer Beurteilung der FE die Wirkung der verschiedenen Ausprägungen auf den Erfolg des Unternehmens im Dunkeln bleiben. So setzen viele Verfahren bei der Messung von Indikatoren des technischen Erfolges an, ohne zu berücksichtigen, daß FE nicht zum reinen Selbstzweck, sondern mit dem Gedanken der wirtschaftlichen Verwertung der technischen Errungenschaften betrieben wird. Aus der Diskussion der herkömmlichen Modelle und ihrer Schwächen folgt, daß ein Verfahren zur Bewertung von FE im Interesse einer allgemeinen Anwendungsfähigkeit folgenden Anforderungen genügen muß:

- Eingehen auf die spezifischen Produktionsbedingungen für FE. Da die Produktivität einer FE-Stätte das Ergebnis einer Vielzahl von Faktoren ist,¹⁾ reichen reine Faktormengenmessungen für die Aufstellung einer Beziehung zu Erfolgsgrößen nicht aus.
- Bezug des Erfolgsmaßes zum Unternehmensziel. Die Messung von Zuwachs an technischem Wissen allein deckt nur einen Teilaspekt der FE-Effizienz ab. Letztlich muß der Wirkung der FE-Tätigkeit auf den Unternehmenserfolg entscheidende Bedeutung zuerkannt werden.
- Berücksichtigung von Zufallseinflüssen auf das FE-Ergebnis. In den bisherigen Modellen wurde die Beurteilung von Unsicherheit und Risiko subjektiviert. Eine intersubjektiv vergleichbare Methode sollte den Einfluß von derartigen Größen auf objektiver Basis einbeziehen.
- Hoher Grad der Standardisierung des Verfahrens. Nur so werden von verschiedenen Gremien durchgeführte Bewertungen vergleichbar.
- Das Verfahren sollte eine dem Charakter des Bewertungsobjektes angemessene Aussagekraft besitzen, d.h. es sollte den unterschiedlichen Bewertungszielen gerecht werden. Dazu muß das Verfahren sowohl Externen als Grundlage für ihre Urteilsfindung als auch Unternehmensinternen, z.B. dem Management, als Mess- und Überwachungssystem dienen können. Aus den Ergebnissen des Verfahrens sollten auch Rückschlüsse auf verbessernde Maßnahmen im Rahmen des operativen Managements erkennbar werden.

1) Vgl. Chorafas, D.N., a.a.O., S.69.

3 DIE TECHNIK DER BEWERTUNG INDUSTRIELLER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG MIT HILFE DER MUSTERERKENNUNG UND DER VARIANZANALYSE

3 1 Grundlegende Überlegungen

Wie oben ausgeführt, reicht eine Betrachtung nur von Input- oder Outputgrößen für eine Beurteilung der Effizienz einer FE-Abteilung nicht aus. Auch industrielle FE-Tätigkeiten sind eingebunden in die unternehmensbezogene Zielsetzung. Ist oberstes Ziel unternehmerischen Handelns die Gewinn- bzw. Rentabilitätsmaximierung oder -optimierung, muß auch eine FE-Abteilung in diesem Sinne beurteilt werden, d.h. wie bei anderen Unternehmensabteilungen auch bemißt sich die Effizienz der FE in ihrem Beitrag zur Erreichung der obersten Unternehmensziele. Gemäß dem Wirtschaftlichkeitsprinzip ist die Effizienz gewährleistet, wenn mit einem bestimmten Input ein maximaler Zielbeitrag bzw. ein festgelegter Zielbeitrag mit minimalem Input erreicht wird.

Zur Prüfung derartiger Zusammenhänge wurden Input- und Outputgrößen in verschiedenen Modellansätzen verknüpft und Beziehungen zwischen den einzelnen Variablen zu quantifizieren versucht.

Davon ausgehend, daß der Erfolg eines Unternehmens von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird, lassen sich solche Zusammenhänge in einigen Formeln verdeutlichen.¹⁾

Sei E_t der Erfolg eines Unternehmens in der Periode t , V_{it} die Ausprägung der i -ten den Erfolg beeinflussenden Variablen in t , V_{it-j} die Ausprägung dieser Variable in der Vergangenheit, E_{t-j} der Erfolg vergangener Perioden, FE_t und FE_{t-j} der FE-Einsatz in Vergangenheit und Gegenwart, so gilt:

$$(3.1) \quad E_t = f(V_{it}, V_{it-j}, E_{t-j}, FE_t, FE_{t-j})$$

mit $j = 1, 2, \dots, n$ und $i = 1, 2, \dots, m$

Die Gleichung besagt, daß der gegenwärtige Unternehmenserfolg von vergangenen und gegenwärtigen Ausprägungen einer

1) Vgl. zu der folgenden Darstellungsweise auch: Horowitz, Ira: Evaluation of the Results of Research and Development, a.a.O., S.42f

Reihe von Variablen abhängig ist, wobei eine dieser Variablen auch der FE-Einsatz ist.

Die geschilderten Verfahren laufen nun darauf hinaus, zunächst den FE-Einsatz in Form von wert- oder mengenmäßig erfaßtem Produktionsfaktoreinsatz zu ermitteln und eine direkte Kausalbeziehung zu einer irgendwie gearteten Erfolgsgröße zu konstruieren. Dabei werden die anderen Variablen mit Einfluß auf den Erfolg zumeist in einer einzigen Residualgröße zusammengefaßt, deren Einfluß in der nicht auf den FE-Einsatz zurückzuführenden Erfolgswirkung gesehen wird. Bezeichnen wir diese Variable mit u_t , ergibt sich aus Gleichung (1):

$$(3.2) \quad E_t = f (FE_t, FE_{t-j}, u_t)$$

Da eine derartige Beziehung die komplexen Zusammenhänge von FE und Unternehmenserfolg nur unzureichend erfaßt, unterliegen sowohl die Ergebnisse als auch die Aussagekraft von dem bisherigen Untersuchungen erheblichen Beschränkungen. Dies sollte aber nicht dazu verleiten, die Beurteilung der FE über Schätzungen in den qualitativen Bereich zu verlagern. Vielmehr wird die Unsicherheit bezügl. der Beziehungen unter den zu betrachtenden Variablen im folgenden Modell anderweitig erfaßt.

Da nicht mit Sicherheit festzulegen ist, daß ein bestimmter FE-Einsatz auch einen festen Zielbeitrag leistet, wird nicht die Forderung nach einem eindeutig definierten funktionalen Zusammenhang erhoben. Der Unsicherheit von FE-Aktivitäten in ihrem Ergebnis wird vielmehr dadurch Rechnung getragen, daß entsprechende Bedingungen der Funktionszusammenhänge als Zufallsbeschränkungen formuliert werden. Aus (2) wird demgemäß:

$$(3.3) \quad P[E_t = f (K_{FE_1}, \dots, K_{FE_1})] \geq 1 - \alpha$$

wobei P für die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer Beziehung und α für ein bestimmtes Signifikanzniveau, bzw. Sicherheitsniveau steht. Die K_{FE} geben die Ausprägungen der n für die FE-Abteilungen beurteilungsrelevanten Kriterien an. Außerdem wird Gleichung (2) dahingehend erweitert, daß nicht nur der reine Produktionsfaktoreinsatz in die Rechnung eingeht, sondern auch andere die Effizienz einer FE-

Abteilung beeinflussenden Faktoren, wie Organisationsstruktur und Managementtechniken explizit im Modell berücksichtigt werden. Da die Zahl der zu bewertenden FE-Abteilungen wesentlich größer ist als die dem FE-Management für deren Ausgestaltung und Lenkung zur Verfügung stehenden Alternativen, werden sich bestimmte Abteilungen in ihren Erscheinungsformen ähneln. Lassen sich derartige Ähnlichkeitsgruppen finden, kann geprüft werden, ob und, wenn ja, aus welchen Gründen die einzelnen Klassen unterschiedlich zum Unternehmenserfolg beitragen.

Dies wird mit Hilfe inferenzstatistischer Methoden geprüft, die im Ergebnis zwar keine determinierenden Gesetzesausagen derart zulassen, daß ein bestimmter theoretisch idealisierter und unendlich genauer Zusammenhang zwischen verschiedenen Variablen aufgedeckt wird, die aber doch die Aufstellung probabilistischer Hypothesen ermöglichen. In unserem Fall könnte eine derartige These beispielsweise die Wahrscheinlichkeitsaussage enthalten, daß, wenn eine FE-Abteilung einer bestimmten Ähnlichkeitsgruppe zugeordnet werden kann, die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Einflusses auf das Unternehmensergebnis P ist. Derartige Schlüsse sind hingegen nicht zwingend, sie sind vielmehr Schätzungen im Sinne der mathematischen Statistik mit in einem Signifikanzniveau berücksichtigten Angaben über mögliche Zufallsfehler.¹⁾

3 2 Methodologische Darstellung

3 2 1 Verfahrensbausteine

Ziel der Untersuchung ist es, typische Ausprägungen industrieller FE zu finden und deren Beziehung zu einer Unternehmenserfolgsgröße zu prüfen, wobei als Ergebnis ermittelt werden soll, welche typische FE-Ausprägung den größten positiven Zusammenhang mit dem Erfolg eines Unternehmens aufweist. Dazu wird aus der Grundgesamtheit aller Unternehmen eine repräsentative Anzahl FE-treibender Unternehmen ermittelt und von diesen die Charakteristika der FE-Abteilung

1) Zur Diskussion von probabalistischen und deterministischen Hypothesen s. Glaser, S. 4ff.

anhand von Merkmalen erfragt. Die konkreten Merkmalsausprägungen dienen in einem weiteren Schritt der Extraktion typischer Erscheinungsformen industrieller FE-Abteilungen. Das analytische Instrumentarium dazu liefert die Clusteranalyse. Anschließend wird mit Hilfe einer Dependenzanalyse getestet, ob ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Ausprägung einer FE-Abteilung, repräsentiert in der entsprechenden Gruppe, und dem Erfolg eines Unternehmens besteht. Läßt sich ein derartiger Zusammenhang zwischen einem bestimmten Muster und überdurchschnittlich hohem Unternehmenserfolg erkennen, so kann diese typische Ausprägung analysiert werden und als Maßstab für die Beurteilung neu zu untersuchender FE-Abteilungen dienen. Der Test bezüglich der unterschiedlichen Wirkung der verschiedenen Cluster auf den Unternehmenserfolg besteht in der Prüfung der Gültigkeit einer assoziativen Beziehung zwischen den gefundenen Typen und dem Erfolgskriterium. Die in einer geeigneten Dependenzanalyse zu testende Hypothese liegt in der Vermutung des unterschiedlichen Einflusses der klassifizierten FE-Ausprägungen auf den Unternehmenserfolg begründet. Bei der Dependenzanalyse ist die jeweilige Variablenmenge von zwei oder mehr Variablen in abhängige und unabhängige Variablen geteilt. Abhängige Variable in der hier anstehenden Analyse ist der Unternehmenserfolg, unabhängige Variable ist die Zugehörigkeit einer industriellen FE-Abteilung zu einem bestimmten Cluster. Eine Übersicht der zur Verfügung stehenden Verfahren der Dependenzanalyse zeigt Abbildung 13.

abhängige Variable	unabhängige Variable	
	metrisch	nominal
metrisch	Regressions- analyse	Varianz- analyse
nominal	Diskriminanz- analyse	Kontingenz- analyse

Abb.13: Einteilung der Verfahren der Dependenzanalyse
 Quelle: Hammann, Peter und Bernd Erichson: Marktforschung, Stuttgart - New York 1978, S.92

Beispielhafte Fragestellungen im Hinblick auf die einzelnen Analysearten sind:

- Regressionsanalyse: Gibt es einen Zusammenhang von FE-Aufwendungen und Unternehmensgewinn?
- Diskriminanzanalyse: Besteht hinsichtlich der Gesamtstruktur mehrerer Merkmale ein signifikanter Unterschied zwischen solventen und insolventen Unternehmen?
- Varianzanalyse: Besteht ein Zusammenhang von Rechtsform und Gewinn eines Unternehmens?
- Kontingenzanalyse: Gibt es einen Zusammenhang von Rechtsform und Standort eines Unternehmens?

Die Auswahl des konkret anzuwendenden Verfahrens ergibt sich im wesentlichen aus dem Skalenniveau der zur Untersuchung verwendeten Variablen.

Gilt die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Muster als unabhängige und eine quantitative Erfolgsgröße als abhängige Variable, kann die Varianzanalyse zur Anwendung kommen.

Die unabhängige Variable wird anhand einer qualitativen Eigenschaftsausprägung klassifiziert. Dafür entscheidend ist die Feststellung, ob eine bestimmte Klassenzugehörigkeit gegeben ist oder nicht. Demgemäß ist diese Variable nominalskaliert, während der z.B. in Geldgrößen gemessene Unternehmenserfolg metrisch skaliert ist.

Die Varianzanalyse erlaubt zwar den Test, ob eine Wirkung einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf die abhängige Variable besteht, sie macht aber keine Aussage darüber, welche Ausprägung der unabhängigen Variablen die stärkste Wirkung auf die abhängige Variable hat. Für die vorgeschlagene Untersuchung heißt dies, es kann zunächst nicht festgestellt werden, ob sich die gefundenen Muster in ihrer Wirkung signifikant unterscheiden. Dazu bedarf es einiger Zusatzrechnungen, welche zwei Ziele verfolgen. Die Wirkungsunterschiede der einzelnen Gruppen der unabhängigen Variablen sollen festgestellt und zugleich die Wirkungsstärke der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variab-

le beurteilt werden. Auf das konkrete Problem bezogen bedeutet dies die Beantwortung der Fragen, ob sich die einzelnen Cluster bezüglich der Erfolgswirkung signifikant unterscheiden, wie stark der Einfluß der Cluster auf den Unternehmenserfolg wirkt und welches Cluster dabei den größten Einfluß ausübt. Der Musterklasse mit dem stärksten positiven Einfluß muß im Rahmen der Effizienzbeurteilung die größte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Ist nun ein Cluster im oben beschriebenen Sinne extrahiert worden, kann auch ermittelt werden, wie eine erfolgreiche FE-Abteilung typischerweise charakterisiert werden kann. Neu zu beurteilende Objekte werden anhand der Beurteilungsmerkmale erfaßt und entsprechend ihrer Ausprägungen der Musterklasse zugeordnet, der sie jeweils am ähnlichsten sind. Je nachdem, in welche Klasse das Untersuchungsobjekt eingeordnet wird, lassen sich Rückschlüsse auf die Effizienz der FE ziehen. Da das Verfahren gleichzeitig aufdeckt, wie erfolgreiche FE-Abteilungen im Hinblick auf die verschiedenen in den Beurteilungsmerkmalen erfaßten Aspekte ausgestaltet sind, lassen sich auch Anhaltspunkte für operative Gestaltungsmaßnahmen im Hinblick auf eine Effizienzerhöhung ableiten.

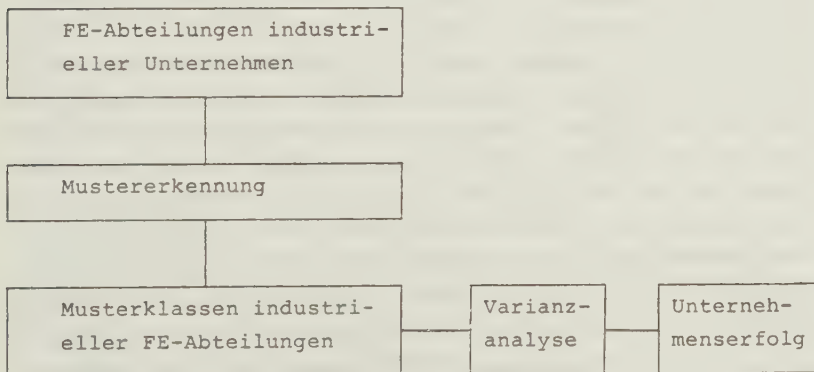


Abb.14: Bausteine der FE-Effizienzanalyse

3 2 2 Extraktion typischer Querschnittsprofile industrieller Forschung und Entwicklung mit Hilfe der Mustererkennung

3 2 2.1 Die Theorie der Mustererkennung

3 2 2.1 1 Einführender Überblick

In den vorangegangenen Kapiteln wurde gezeigt, daß ein allgemein anwendbares und aussagekräftiges Verfahren im Bereich der FE-Bewertung nicht vorhanden ist. Die Komplexität des Untersuchungsgegenstandes und die Unsicherheit bewertungsrelevanter Faktoren erschweren die Durchdringung der Zusammenhänge.

Aufgabe und Ziel eines FE-Bewertungsverfahrens ist die Diagnose bestimmter Datenkonstellationen und die darauf aufbauende Urteilsfindung. Weiterhin sollen auf der Grundlage der Erkenntnisse aus diesem Arbeitsschritt Handlungsempfehlungen für eine Verbesserung des ermittelten Ist-Zustandes gewonnen werden.

Mertens vergleicht nun eine derartige Aufgabe mit Problemstellungen, wie sie in der Medizin anzutreffen sind.¹⁾ Ein Arzt, der die Krankheit eines Patienten zu behandeln hat, wird zunächst feststellbare Symptome untersuchen und aus der Kombination der Symptome auf die Krankheit schließen, bevor er letztendlich eine Therapie in Form einer oder mehrerer Heilmaßnahmen einleitet. Während dieses Prozesses wird gewissermaßen ein Eingangsmuster in ein Ausgangsmuster umgewandelt. Diese Transformation kann auf gesichertem Wissen über medizinisch-naturwissenschaftliche Zusammenhänge beruhen. Häufig fehlt es jedoch an der genauen Kenntnis derartiger gesetzmäßiger Zusammenhänge, und die Informationsbasis zur Ableitung von Heilmaßnahmen beruht lediglich auf statistischen Beobachtungen derart, daß einzelne Therapien mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit Heilung versprechen. Aus dem mangelnden Wissen über die konkreten

1) Vgl. zum folgenden: Mertens, Peter: Die Theorie der Mustererkennung in den Wirtschaftswissenschaften, in: ZfbF, 29.Jg., 1977, S.777f

Abläufe im Heilungsprozeß wird nicht der Schluß gezogen, auf jegliche Therapie zu verzichten, vielmehr bedient man sich zur Ableitung von Behandlungsansätzen anderer Methoden. Hier, genau wie überall dort, wo große und unübersichtliche Datenmengen zu analysieren sind und Aktivitäten nicht schlüssig aus den Datenkonstellationen abgeleitet werden können, sind die Verfahren der Mustererkennung anwendbar. Konkret dienen diese Verfahren der automatischen Verarbeitung von Mustern, wobei Muster als Kombination von Merkmalen zu verstehen sind.¹⁾ Grundprinzip der Mustererkennung ist, eine mehr oder weniger große Zahl verschiedener Erscheinungsformen von Merkmalskombinationen auf eine übersichtliche und begrenzte Zahl von charakteristischen Mustern, sog. Musterklassen, zurückzuführen.²⁾ Neu zu untersuchende Muster werden aufgrund der ihnen eigenen Kriterienausprägungen in diese Klassen eingeordnet.³⁾

Mertens unterscheidet Muster nach ihrer Art in einfache und komplexe, sowie in anschauliche und abstrakte, wobei er die anschaulichen in akustische und optische aufspaltet und letztere wiederum in ein-, zwei- und dreidimensionale Muster einteilt.

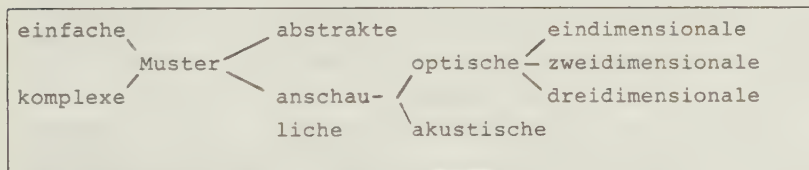


Abb.15: Arten von Mustern

Quelle: Mertens, Peter, a.a.O., S.780

Einfache Muster lassen sich sehr leicht in Klassen einordnen. Ihre Beziehungen untereinander sind unwichtig oder

1) Vgl. Mertens, Peter, a.a.O., S.779

2) Vgl. Scholz, Christian: Strategische Branchenanalyse durch Mustererkennung, in: ZfB, 55.Jg., 1985, S.121

3) Vgl. Fogler, Russel H.: A Pattern Recognition Model for Forecasting, in: MS, Vol.20, 1974, S.1179

selbstverständlich. Beispielhaft sei auf die lateinischen Buchstaben verwiesen, die auch dann leicht in 26 Klassen geordnet werden können, wenn sie von verschiedenen Personen geschrieben werden.¹⁾ Liegen komplexe Muster vor, ist deren Beschreibung und Analyse unumgänglich.

Anschauliche Muster sind in der Akustik z.B. die Sprache oder bestimmte Geräusche. Beispiele optischer Muster im eindimensionalen Bereich sind Elektrokardiogramme, im zweidimensionalen Bereich Photographien, die auf der Darstellung dreidimensionaler Objekt im zweidimensionalen Bereich beruhen.

Besondere Bedeutung in den Wirtschaftswissenschaften haben die abstrakten Muster. Zu ihrer Beschreibung werden häufig gänzlich unterschiedliche Merkmale herangezogen, so z.B. für das Muster "Werkstattzustand" u.a.:

"Warteschlangenlänge in Fertigungsminuten vor den einzelnen Maschinen, leerstehende Maschinen, aufgelaufene Terminverzögerungen bzw. -voreilungen der einzelnen Aufträge, aktueller Rüstzustand der einzelnen Maschinen, aktuelle Kapitalbindung, aktueller Qualitätsstand der Maschinen:"²⁾

Ist ein Muster komplex aufgebaut und besteht es aus mehreren 'Unter-Mustern', ergibt sich in formaler Schreibweise:

$$(3.4) \quad \vec{f}(x) = \begin{bmatrix} f_1(x_1, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, \dots, x_n) \\ . \\ . \\ . \\ f_m(x_1, \dots, x_n) \end{bmatrix}$$

$f(x)$ als Muster eines betrachteten Objektes wird von den m im Vektor f zusammengefaßten Komponenten beschrieben. Das Erscheinungsbild dieser Komponenten bestimmen wiederum die unabhängigen Variablen x_1 bis x_n .³⁾

1) Vgl. Mertens, Peter, a.a.O., S.780

2) Mertens, Peter, a.a.O., S.780

3) Vgl. Niemann, Heinrich: Methoden der Mustererkennung, Frankfurt am Main 1974, S.5

3 2 2.1 3 Anwendungsgebiete der Mustererkennung

Breitesten Anwendung fanden die Verfahren der Mustererkennung in den letzten Jahren im Bereich der Medizin, der Kriminalistik, der Biologie und Meteorologie. Dabei stieg das Interesse an diesen Verfahren mit dem zunehmenden Vorhandensein von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, da erst diese helfen konnten, eine Fülle multidimensionaler Muster zu verarbeiten und gleichzeitig den Aufwand in vertretbaren Grenzen zu halten.

In der Medizin dienen Mustererkennungsverfahren bei der Vorbereitung und Aufstellung von Diagnosen, bei Vorverarbeitung und Auswertung von Röntgenbildern oder Elektrokardiogrammen, -enzephalogrammen und -myogrammen bis hin zur automatischen Patientenüberwachung.

In der Kriminalistik liegen die Arbeitsgebiete in dem Identifizieren von Fingerabdrücken oder Stimmen, z.B. bei Telefongesprächen.¹⁾

Meteorologen behelfen sich bei der Wettervorhersage mit der Klassifikation von Wetterlagen, deren Beschreibungsmerkmale verschiedene Wetterdaten wie Luftdruck, Luftfeuchtigkeit oder Temperatur sind.

Geologen schließen aus bestimmten Schichtenmustern auf das Vorhandensein natürlicher Ressourcen.²⁾

Auch im Bereich der Wirtschaftswissenschaften bietet sich eine Fülle potentieller Anwendungsgebiete, eingesetzt wurde die Mustererkennung aber erst in wenigen Analysen.

Grinold sieht als typisches Anwendungsbeispiel für die Mustererkennung und -klassifikation die Kreditbewertung an. Aus historischen Daten sowie einem für einen Kreditantragsteller ermittelten Merkmalsvektor muß der Kreditbearbeiter

1) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.20; Graselli, Antonio: On the Automatic Classification of Fingerprints, in: Watanabe, Satoshi: Methodologies of Pattern Recognition, New York - London 1969, S.253-259

2) Zu weiteren Anwendungsgebieten der Mustererkennung s. die Beispiele bei: Gelsema, Edzard S. und Laveen N. Kanal (Hrsg.): Pattern Recognition in Practice, Amsterdam - New York - Oxford 1980.

erkennen, ob er dem Antragsteller einen Kredit gewähren kann oder nicht. Dazu vergleicht er den Merkmalssektor des Kreditbeantragenden mit den Musterklassen, welche für gute und schlechte Kreditrisiken aus historischen Daten gewonnen wurden.¹⁾ In ähnlicher Weise verfahren Fischer und Heno beim Aufbau eines computergestützten Kreditanalysesystems auf Basis der Mustererkennung.²⁾

Fogler beschreibt ein Modell zur Vorhersage von Konjunkturindexwerten mit Hilfe von Indikatoren. Muster sind dabei bestimmte, empirisch erfaßte Datenkonstellationen.³⁾

Felsen stellt ein Modell zur Zusammenstellung von Wertpapier-Portefeuilles auf und integriert es in ein umfassendes Management-Informationsmodell. Ausgehend von der These, daß einzelne Analysetechniken wie Fundamental- oder technische Aktienanalyse, nicht alle verfügbaren Informationen verarbeiten und daher wertvolle Informationen verschenken, aber die Anwendung aller Verfahren gleichzeitig für einen einzelnen Menschen unüberschaubar wird, empfiehlt er die maschinelle Auswertung der Daten mit Hilfe von Mustererkennungsmodellen.⁴⁾

Im Rahmen einer strategischen Branchenanalyse stellt Scholz eine Methode vor, die über Mustererkennung verlaufsbezogene Gesetzmäßigkeiten einer Branche auffinden soll. Es werden bestimmte, jeweils typische Situationen herausgefiltert, sowie die Übergänge zwischen den Entwicklungsstadien lokalisiert, auf denen aufbauend die jeweils angemessenen Unternehmensstrategien formuliert werden können.⁵⁾

Mertens weist auf eine Vielzahl weiterer Anwendungen im Bereich der Wirtschaftswissenschaften hin. So sieht er

-
- 1) Vgl. Grinold, Richard C.: Mathematical Programming Methods of Pattern Classification, in: MS, Vol.19, 1972, S.272
 - 2) Vgl. Fischer, Jürgen H.: Computergestützte Analyse der Kreditwürdigkeit auf Basis der Mustererkennung, Düsseldorf 1981; Heno, Rudolf: Kreditwürdigkeitsprüfung mit Hilfe von Verfahren der Mustererkennung, Diss.Mainz 1983
 - 3) Vgl. Fogler, Russell, H., a.a.O., S.1178-1189
 - 4) Vgl. Felsen, Jerry: A Man-Machine Investment Decision System, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol.8, 1976, S.169-193
 - 5) Vgl. Scholz, Christian, a.a.O., S.120-141

Anwendungsmöglichkeiten bei allen wirtschaftlichen Prognosen, von denen zwei Spezialfälle Insolvenzprognosen von Unternehmen durch Untersuchung von Kennzahlenkonstellationen und die Kreditrisikoanalyse bei Wirtschaftssubjekten sein können. Arbeiten auf diesem Gebiet, die vor allem die Verwendungsmöglichkeit und Aussagekraft multivariater Verfahren diskutieren, liegen in großer Zahl vor.²⁾ U.a. wird auch hingewiesen auf den möglichen Einsatz der Mustererkennung bei Organisationsstudien, sowie bei Fragen der Auswahl von bestimmten Maßnahmen oder Personen und bei Kontrollaufgaben.³⁾

Die Vielfalt möglicher Anwendungsfälle veranlaßt Meisel zu der Feststellung, daß bei jedem System, wo die komplexen Zusammenhänge von erfaßbarem Input und Output nicht bekannt sind, die automatische Mustererkennung eingesetzt werden kann.⁴⁾

2) s.u.a.: Weibel, Peter F.: Die Aussagefähigkeit von Kriterien zur Bonitätsbehandlung im Kreditgeschäft der Banken, Diss.Bern 1973; Gebhardt, Günther: Insolvenzprognosen aus aktienrechtlichen Jahresabschlüssen, Wiesbaden 1980; Bulling, H.: Entscheidungshilfen der Diskriminanzanalyse bei der Gewährung von Konsumentenkrediten und gewerblichen Krediten, Diss.Berlin 1976; Deakin, E.B.: A Discriminant Analysis of Predictors of Business Failure, in: Journal of Accounting Research, No.10, 1972, S.167-179; Feulner, Waldemar: Moderne Verfahren bei der Kreditwürdigkeitsprüfung im Konsumentenkreditgeschäft, Frankfurt 1980; Edmister, R.O.: An Empirical Test of Financial Ratio Analysis for Small Business Failure Prediction, in: Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1972, S.1477-1493; Baetge, Jörg: Früherkennung negativer Entwicklungen der zu prüfenden Unternehmung mit Hilfe von Kennzahlen, in: Die Wirtschaftsprüfung, 33.Jg., 1980, S.651-665; Steiner, Manfred und Martin Rössler: Zukunftsorientierte Bilanzanalyse und ihre Prognosequalität, in: BFuP, 28.Jg., 1976, S.440-453; Beermann, Klaus: Prognosemöglichkeiten von Kapitalverlusten mit Hilfe von Jahresabschlüssen, Düsseldorf 1976; Weinrich, Günter: Kreditwürdigkeitsprognosen, Wiesbaden 1978; Bieg, Helmut: Kann der Bankenprüfer die Bonität gewerblicher Bankkreditnehmer beurteilen?, in: ZfbF, 36.Jg., 1984, S.495-512; Strack, Heinz: Kreditbewertungsverfahren zur Analyse des Kreditrisikos, Diss. Berlin 1975.

3) Vgl. Mertens, Peter, a.a.O., S.789ff.

4) Vgl. Meisel, William S.: Computer Oriented Approaches to Pattern Recognition, New York - London 1972, S.6

3 2 2.1 3 Komponenten der Mustererkennung

3 2 2.1 3 1 Merkmalsselektion und -extraktion

Zur Mustererkennung werden alle Verfahren der automatischen Verarbeitung beliebiger Muster gerechnet. Aufgabe eines Musterklassifizierungssystems ist die Zuordnung vorgegebener Muster zu übergeordneten Klassen.¹⁾

Wie jedes Mustererkennungsverfahren besteht auch die Methodik der Erkennung von Mustern industrieller FE-Abteilungen aus mehreren Einzelkomponenten, die aufeinander aufbauen. Zunächst muß ein zu bearbeitendes Muster von Störeinflüssen befreit und in eine geeignete Form gebracht werden.²⁾ Anschließend werden die Ausprägungen der charakteristischen Merkmale erfaßt und das Muster gemäß den gespeicherten Vorschriften über die Klassencharakteristika einer Klasse zugeordnet. Für ein derartiges Vorgehen ist eine vorherige Extraktion der Beurteilungsmerkmale sowie die Festlegung der Klassen und ihrer charakteristischen Ausprägung notwendig. Dabei sind sowohl in der Phase der Extraktion als auch der Klassifikation unterschiedliche Vorgehensweisen möglich. Diese Vorverarbeitungsmaßnahmen sind notwendig, um zum Endziel eines Mustererkennungssystems, der Klassifikation bzw. Analyse von Mustern mit größtmöglichem Erfolg, zu gelangen.³⁾ Die Selektion und Extraktion der Beurteilungsmerkmale ist deswegen ein wichtiger Schritt im Mustererkennungsprozeß, weil eine Klassifikation voraussetzt, daß die Merkmale einer Stichprobe von Objekten stark klassifikato-

1) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.8f.

2) Vgl. ebenda, S.15

7) Vgl. ebenda, S.28

rische Eigenschaften aufweisen.¹⁾ Die Merkmalsausprägungen sollen für die Muster einer Klasse möglichst invariant und für die Klassen untereinander möglichst verschieden sein, um später zuverlässige Aussagen über die Klassenzugehörigkeit zu ermöglichen und Fehlentscheidungen zu vermeiden. Die Merkmalsextraktion geschieht deswegen, weil die Beschreibung eines Objektes in einem n-dimensionalen Vektor einfacher ist, als die Darstellung sämtlicher Funktionszusammenhänge. Dies vereinfacht die weiteren Rechengvorgänge und verringert bei einer automatischen Mustererkennung mit Hilfe von DV-Anlagen die notwendige Rechenzeit und Speicherkapazität.²⁾

Bei der Beurteilung eines Objektes läßt sich eine Vielzahl von Kombinationen n-dimensionaler Merkmalsvektoren ermitteln. Sinnvoll ist die Weiterverarbeitung nur des Vektors, auf dessen Basis eine möglichst gute Entscheidung über die Klassenzugehörigkeit eines Musters getroffen werden kann.

Dazu muß ein Satz möglichst redundanzfreier Variablen gefunden werden. Merkmale, die den gleichen Faktor messen, sollen unberücksichtigt bleiben, da sonst Verzerrungen in der Ähnlichkeitsstruktur auftreten können. Gleichzeitig soll der Vektor möglichst niedrig dimensioniert sein, ohne daß ein allzu großer Informationsverlust oder eine Auflösung der Struktur des Merkmalsraums in Kauf genommen werden muß.³⁾

Es bleibt folglich festzuhalten, daß als Anforderungen an den endgültigen Merkmalsraum die möglichst geringe Dimensionalität unter Wahrung der zur Klassifikation ausreichenden Informationen zu nennen ist, wobei auch die inhaltliche Konsistenz der Merkmale bei allen Mustern der Stichprobe und die Strukturserhaltung des Erhebungsraumes weitgehend

1) Vgl. Steinbrink, K.: Grundlagen zur Verbesserung von Informationen und Entscheidungen im Bankbetrieb, Diss. Köln 1975, S.254

2) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.28

3) Vgl. Fischer, Jürgen H., a.a.O., S.76

gewährleistet werden muß.¹⁾ Nicht die allen Mustern gemeinsamen Charakteristika, sondern die Auswahl derjenigen Merkmale, die durch ihre heterogene Ausprägung zur Unterscheidung der Klassen beitragen, sollen herausgefiltert werden. Denn nur diese erlauben eine klare Trennung der einzelnen Klassen und nur diese erlauben auch eine weitgehend fehlerfreie Klassifizierung.

Allerdings sind solche Kriterien zur Auswahl des Merkmalsvektors analytisch nur schwer ableitbar, so daß eine allgemeine Regel oder ein universell verwendbarer Algorithmus nicht existiert.²⁾ Vielmehr wurden mehrere verschiedenartige Verfahren entwickelt, die je nach anstehendem Problem und vorhandenem Datenmaterial unterschiedliche Eignungen vorweisen, so daß letztlich auch die Erfahrung des Modellkonstruktors eine Rolle spielt.³⁾ Drei Hauptgruppen von Verfahren zur Vorverarbeitung und zum Auffinden von Merkmalen haben sich herauskristallisiert:⁴⁾

- a. Analytische Verfahren,
- b. Heuristische Verfahren,
- c. Bewertungsmaße,

ad a: In diese Gruppe gehören die Verfahren, bei denen die Operationsvorschrift zur Ermittlung geeigneter Merkmalsvektoren analytisch ableitbar ist. Allerdings beziehen sie sich hauptsächlich nur auf Methoden zur Störungsreduktion. Verfahren, auf diesem Wege direkt Merkmalsvektoren zu gewinnen, welche die Rate der Fehlklassifikationen minimieren, bestehen nicht. Daher spielt auch hier die Intuition insofern eine Rolle, als nur vermutet werden kann, daß ein bestimmter, auszuwählender Vektor die Fehlerquote gering hält. Ein Prüfverfahren zur Absicherung dieser Annahmen besteht jedoch nicht.

1) Vgl. Heno, Rudolf. a.a.O., S.172; Meisel, William S., a.a.O., S.24ff.

2) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.151f

3) Vgl. Heno, Rudolf, a.a.O., S.172

4) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.29f. u. S.151

ad b: Die Auswahl der Merkmale nach dieser Methode erfolgt rein intuitiv. Vermutungen über Wirkungszusammenhänge, Sachverständnis und Erfahrung des Modellkonstruktors sind bei diesen Verfahren entscheidend für die Auswahl sowohl der Merkmale, als auch der Transformationsmethoden zur Beseitigung von Störungen.

ad c: Bei dieser Art der Merkmalsgewinnung werden anhand von Güte- oder Bewertungsmaßen aus einer großen Zahl von möglichen Merkmalen die n Merkmale ausgewählt, welche für die weitere Vorbereitung am geeignetsten erscheinen. Die Ausgangsmenge von Merkmalen wird entweder vorgegeben oder durch einen Auswahlkoeffizienten erzeugt.

Besondere Bedeutung bei diesen Verfahren hat die Auswahl des Gütemaßes, das die Trennfähigkeit der Merkmale zum Ausdruck bringen soll. Genannt werden Korrelationskoeffizienten, informationstheoretische Maße und die Schätzung von Fehlerwahrscheinlichkeiten bei der Klassifikation.¹⁾

Ein zusätzliches Kriterium bei der Vorauswahl von Merkmalen kann die Berücksichtigung von Informationsbeschaffungs- und -verarbeitungskosten sein. Gerade im Fall der komplexen FE-Bewertung soll eine umfangreiche Datensuche vermieden werden und eine Klassifikation auch ohne allzu detailbezogene und schwierig zu beschaffende Informationen ermöglicht werden. In den primären Merkmalset sollen folglich von vorne herein nur Merkmale eingehen, deren Ausprägungen für den Modellkonstrukteur auch ohne großen Erhebungsaufwand erfaßbar sind.

Die Minimierung der Fehlklassifikationsrate ist oberstes Ziel der Phase der Merkmalsextraktion, ebenso wie dies auch Anliegen der anschließenden Klassifikation ist. Insofern sind beide Stadien des Mustererkennungsprozesses miteinander verwoben. Folglich muß das jeweilig verwendete Klassi-

1) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.133f.

fikationsverfahren bei der Wahl des Verfahrens zur Merkmalsextraktion nicht nur Berücksichtigung finden, vielmehr bedingen sich beide Verfahrensschritte bis zu einem gewissen Grad gegenseitig. Derartige Interdependenzen können zum Einbau eines Lernprozesses im System genutzt werden.

Ausgehend von einer Analyse vergangener Klassifikationsergebnisse ist es möglich, die anfänglich ausgewählten Merkmale über einen sukzessiven Anpassungsprozeß zu untersuchen und eine besser geeignete Merkmalskombination zu erstellen. Vorteilhaft ist eine derartige Vorgehensweise, wenn anfänglich nur eine sehr kleine Stichprobe von Mustern zur Verfügung steht, die zunächst nur unsichere Anfangsklassifikationen erlaubt. Besonders interessant wird aber die Bildung einer derartigen Rückkopplungsschleife auch, wenn sich die Eigenschaften der zu erkennenden Muster über die Zeit ändern.¹⁾ Beispielhaft sei verwiesen auf eine Prognose von Konjunkturindexwerten mit Hilfe von Indikatoren. Im Verfahren von Fogler²⁾ wurden dazu Datenkonstellationen empirisch erfaßt und klassifiziert. Die Bedeutung der empirisch erfaßten Daten für die Trennung der Musterklassen kann sich aber im Laufe der Zeit dadurch ändern, daß ein Wandel in den zur Konjunkturbeeinflussung eingesetzten wirtschaftspolitischen Instrumentarien erfolgt. Derartige Maßnahmen erzeugen strukturelle Veränderungen im Gefüge des Merkmalsvektors, indem die Gewichte einzelner Merkmale verändert werden. Da die Instrumente der aktiven Konjunkturbeeinflussung häufig wechseln, wandelt sich auch ihre Bedeutung für die Erklärung des Konjunkturverlaufs. Ein über alle Zeit feststehendes System von einer begrenzten Zahl von Merkmalen für eine Prognose der Konjunktur wird daher kaum zu finden sein. Vielmehr werden bessere Ergebnisse erreichbar, wenn über eine Lernschleife die Anpassung an die jeweilige Situation möglich wird. Grundsätzlich kann sich ein Lernprozeß auf alle Phasen des Merkmalsprozesses beziehen. In

1) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.16; Mertens, Peter, a.a.O., S.781

2) Vgl. Fogler, Russell H., a.a.O., S.1178-1189

der Merkmalsextraktionsphase sollte ein geeigneter Lernalgorithmus Merkmale in den Analyseprozeß aufnehmen, die eine hohe Trennfähigkeit aufweisen und unbedeutende Beurteilungskriterien ausklammern. Ein allgemein anwendbares Verfahren für die lernende Extraktion gibt es nicht, zumal die Merkmalsextraktionsverfahren selbst nicht bis zur Anwendungsreife entwickelt sind.¹⁾ Theoretisch befriedigende Lernalgorithmen sind nur für die Phase der Klassifikation bekannt.

3 2 2.1 3 2 Klassifikation

In der Klassifikationsphase wird aufgrund der gespeicherten Vorschriften über die charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Klassen ein Muster, bestehend aus einem n-dimensionalen Vektor, einer bestimmten Klasse zugeordnet.²⁾ Die Klassifikation soll anhand von Merkmalen erfolgen, welche die Klassenmuster gut beschreiben, gleichzeitig aber auch zur deutlichen Unterscheidung der Klassenmuster untereinander beitragen. Dabei scheidet ein reiner Schablonenvergleich aus, da neue Muster nur selten mit einem Klassenmuster vollkommen identisch sind. Vielmehr sind Methoden anzuwenden, die die Feststellung von Ähnlichkeiten ermöglichen, auch wenn nicht alle in einer Grundgesamtheit enthaltenen Objekte verwendet werden. Gerade bei den Elementen der Menge, die nicht in einem anfänglichen Prozeß verarbeitet werden, soll das Verfahren gültige Ergebnisse liefern. Daher muß versucht werden, aus nur wenigen Elementen der Klasse die diese kennzeichnenden Eigenschaften zu bestimmen und ein neues Muster auf das Vorhandensein dieser Eigenschaften zu untersuchen.³⁾ Soll ein automatisiertes Klassifikationsverfahren effizient eingesetzt werden, müssen die n-dimensionalen Vektoren der Muster einer Klasse ein einigermaßen kompaktes Gebiet einnehmen.⁴⁾ Zudem muß der

1) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.16

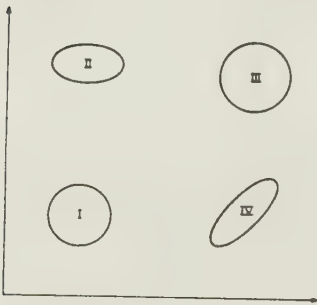
2) Vgl. Mertens, Peter, a.a.O., S.780

3) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.10f

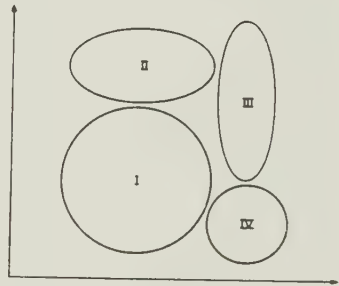
4) Vgl. ebenda, S.16

Klassifikationsalgorithmus in der Lage sein, auch komplexe Strukturen zu verarbeiten.¹⁾

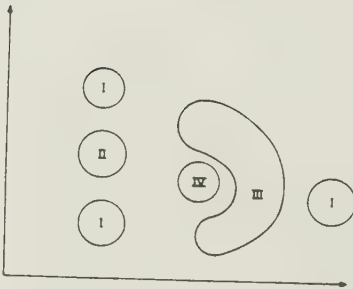
Munson illustriert die Notwendigkeit der Erfüllung dieser Voraussetzungen anhand von Beispielen vier verschiedener, nach ihrem Komplexitätsgrad abgestufter Klassifikationsprobleme.



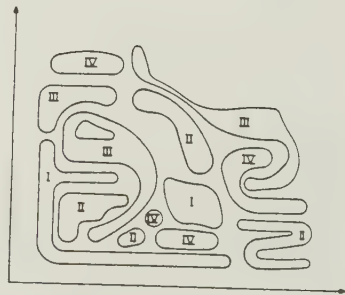
(1)



(2)



(3)



(4)

Abb. 16: Klassifikationsprobleme unterschiedlicher Komplexität

Quelle: Munson, J.H., a.a.O., S.434ff.

1) Vgl. Munson, J.H.: Some Views on Pattern Recognition Methodology, in: Watanabe, Satoshi, (Hrsg.), a.a.O., S.423

Problem (1) zeigt einen Vektorraum mit einem einfachen Vier-Klassen Problem. Da schon auf der Stufe vorverarbeitender Maßnahmen gute Arbeit geleistet wurde, stellen sich hier keine großen Anforderungen an den Klassifikator. Im Fall (2) wird zwar schon eine Untersuchung in etwas größerem Rahmen vorzunehmen sein, es kann dennoch erwartet werden, daß auch einfache lineare Klassifikatoren noch gute Ergebnisse liefern. In der dritten Gruppe müssen auch nicht-lineare Trenngrenzen erkannt werden. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an den Klassifikator. Eine erneute Vorverarbeitung und Datenanalyse wird dagegen in Fall (4) nötig werden.¹⁾ Ursachen für die in diesem Fall nicht mit genügender Sicherheit erkennbaren Muster sind möglicherweise Störungen bei der Erzeugung oder Übertragung der Muster. Diese Störungen können dann Ursache für Fehlentscheidungen sein. Zur Reduzierung von Fehlklassifikationen kann aber eine Rückweisungsklasse gebildet werden, in die alle Muster eingeordnet werden, deren Klassenzugehörigkeit zweifelhaft ist.²⁾

Letztendlich besteht die Aufgabe der Klassifikation in der Zuordnung eines Musters zu einer Musterklasse. Dazu ist es nötig, die klassifizierten Merkmalskombinationen als Referenzgrößen für das neue Muster einzusetzen und die am neuen Muster ermittelten Merkmalsausprägungen nach Vorerarbeitung und Reduzierung von Störeinflüssen zur Entscheidung über die spezifische Klassenzugehörigkeit zu analysieren.

Zur Durchführung der eigentlichen Klassifikation stehen eine Fülle verschiedener Verfahren zur Verfügung. Niemann unterscheidet zunächst zwischen numerischen und nicht-numerischen bzw. symbolischen Verfahren. Die numerischen Verfahren sind weiter aufgegliedert in fest dimensionierte oder überwacht lernende und nicht-parametrische Klassifikatoren. Weiterhin werden geometrische und unüberwacht lernende Klassifikatoren bei den numerischen Klassifikatoren unterschieden.

1) Vgl. Munson, J.H., a.a.O., S.423

2) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.12

Nicht-numerische oder symbolische Verfahren kennzeichnen Muster durch eine Folge von Symbolen. Klassifikatoren dieser Art entstammen den in der Automatentheorie, der mathematischen Linguistik und der Theorie der formalen Sprachen angewandten Methoden und werden vornehmlich bei komplexen Mustern vorgeeschlagen, wobei jedoch der erforderliche Aufwand groß ist und ihre Anwendung noch in der Entwicklung befindlich ist.¹⁾

Bei den statistischen Klassifikatoren wird das aus einem Merkmalsvektor c bestehende Muster als Realisation einer Zufallsvariablen einer bestimmten Klasse aufgefaßt. Eine bedingte Wahrscheinlichkeitsdichte dient der Zusammenfassung der Kenntnisse über die Musterklassen.²⁾ Die a priori Informationen über das Klassifikationsproblem können in den a priori Wahrscheinlichkeiten $P(k)$ der einzelnen Klassen $k = 1, \dots, K$ und den klassenbedingten Verteilungsdichten $P(c/k)$ zusammengefaßt werden, wobei $P(k)$ die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer bestimmten Klasse und $P(c/k)$ die Wahrscheinlichkeit angibt, daß eine bestimmte Kombination von Merkmalsausprägungen vorhanden ist, wenn das vorliegende Muster bekannterweise zur Klasse k gehört.³⁾ Da in der Realität die bedingten Dichtefunktionen zumeist nicht bekannt sind, müssen exogen Annahmen darüber getroffen und die Parameter aus den Stichproben auf statistischem Wege geschätzt werden.

Verfahren der parametrischen Klassifikation nehmen i.d.R. eine mehrdimensionale Normalverteilung der Merkmalsverteilung an, ohne daß diese Annahmen in der Praxis immer überprüft werden. Aus den als bekannt vorausgesetzten Verteilungsdichten wird dann der Klassifikator abgeleitet, welcher bei Minimierung der Fehlerwahrscheinlichkeit einen Merkmalvektor der Klasse mit der größten a posteriori Wahrscheinlichkeit zuordnet.

1) Vgl. Niemann, S.326ff.

2) Vgl. ebenda, S.165f.

3) Vgl. Heno, Rudolf, a.a.O., S.174

Bei den überwacht lernenden statistischen Klassifikatoren wird als Zusatzsystem ein Algorithmus eingebaut, der über geeignete Berechnungen Korrekturen der Parameter erlaubt und so die optimale Leistungsfähigkeit des Systems gewährleisten soll.¹⁾

Nicht-parametrische Klassifikatoren benötigen keine detaillierte Kenntnis der bedingten Verteilungsdichten. Es muß lediglich gewährleistet sein, daß die zu vergleichenden Stichproben einer Grundgesamtheit angehören. Eine Möglichkeit der nicht-parametrischen Klassifikation bietet die Anwendung der "Nächste-Nachbar-Regel"²⁾ in den verschiedenen Ausprägungen. Dabei wird ein Muster derjenigen Klasse zugeordnet, der es am ähnlichsten in dem Sinne ist, daß die Merkmalsvektoren eines neuen Musters und einer schon vorhandenen Klasse möglichst dicht beieinanderliegen. Der geometrische Abstand zwischen dem Musterpunkt im Merkmalsraum, definiert durch den Merkmalsvektor dieses Musters und dem Klassenvektor bestimmt also die Klassenzugehörigkeit. Als Abstandsmaß wird bei dieser Regel häufig die Euklidische Distanz verwendet. Bei ihr wird der Abstand zwischen zwei Objekten P und Q definiert als:

$$(3.5) \quad d_{PQ} = \left[\sum_{i=1}^n (x_{iP} - x_{iQ})^2 \right]^{1/2}$$

Messen x_{iP} und x_{iQ} die Ausprägungen des i-ten Merkmals bei den Objekten P und Q, so bestimmt d_{PQ} den Abstand der Objekte A und B in dem n-dimensionalen Raum. Zwei Problemkreise sind bei Verwendung dieses Distanzmaßes zu beachten: Auf den Koordinatenachsen des Merkmalsraumes müssen zum einen vergleichbare Merkmalseinheiten abgetragen sein, d.h. die Längen einer Einheit auf allen Merkmalsskalen müssen sich entsprechen. Sollen keine Verzerrungen der Ergebnisse durch ungewollte Gewichtungen auftreten, muß andererseits

1) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.202ff; Fischer, Jürgen H., a.a.O., S.90f.

2) s. zu dieser Regel u.a.: Niemann, Heinrich, a.a.O., S.226f; Meisel, William S., a.a.O., S.29f.

die Unabhängigkeit der Merkmale vorausgesetzt werden, d.h. die Koordinatenachsen der Dimensionen müssen senkrecht aufeinanderstehen.

Werden untereinander stark korrelierte genau wie unabhängige Merkmale behandelt, kann ein bestimmter Aspekt bei der Analyse ungewollt übergewichtet werden. Zur Vermeidung einer derartigen unangemessenen internen Gewichtung können der Klassifikation eine Faktoranalyse vorgeschaltet oder die Berechnung der Abstände nach Mahalanobis durchgeführt werden.¹⁾

Die Verfahren der geometrischen Klassifikation arbeiten umso besser, je stärker getrennt die Stichproben der einzelnen Klassen im n-dimensionalen Raum liegen. Ein Vorteil dieser Verfahren liegt in der Möglichkeit, auch sehr komplexe Klassengrenzen erkennen zu können, ohne daß das Verfahren selbst mit zunehmender Zahl der Dimensionen an Komplexität gewinnt.²⁾ Auch setzen die geometrischen Klassifikationsverfahren keine bestimmte Form der bedingten Wahrscheinlichkeitsdichten voraus. Vielmehr werden die Kenntnisse aus der Verteilung der Musterklassen dazu genutzt, eine Trennfunktion zu ermitteln, welche auf der Basis der aus der ursprünglichen Stichprobe ermittelten Parameter die geometrischen Räume, in denen die Muster der jeweiligen Klassen liegen, gegeneinander abgrenzt. Dabei ist eine Klassifikation umso einfacher, je kompakter die Muster einer Klasse im Musterraum beieinanderliegen. So wird z.B. im Zwei-Klassen-Fall mit Hilfe der klassifizierten Stichprobe eine Hyperfläche konstruiert, welche zwei Klassen möglichst gut trennt.³⁾ Der Musterraum wird folglich über eine Diskriminanzanalyse in zwei Klassenregionen aufgeteilt, wobei die Muster der Klassen jeweils in den ihnen

1) Vgl. Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; H.Hummer; W. Lohrberg; W.Plinke; W.Schreiner, a.a.O., S.122; Vogel, F.: Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation, Göttingen 1975, S.84

2) Vgl. Meisel, William S., a.a.O., S.29; Heno, Rudolf, a.a.O., S.228f.

3) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.249

zugeteilten Räumen liegen. Nachteil der Verfahren ist, daß zunächst nur die Trennung zweier Klassen untersucht werden kann. Für die Verarbeitung von Mehr-Klassen-Problemen muß eine Zerlegung in mehrere Zwei-Klassen-Probleme erfolgen.¹⁾ Eine Voraussetzung für die Konstruktion derartiger Trennfunktionen ist das Vorliegen metrisch ausgeprägter Merkmale, deren Komponenten, wie oben schon angedeutet wurde, vergleichbar sein müssen.

Im Fall der unüberwacht lernenden Klassifikation fehlen a-priori-Informationen über die Klassenzugehörigkeit der Muster. Erfolgt bei einem überwacht lernenden Mustererkennungssystem eine Unterstützung von außen insofern, als der Mensch die Klassenzugehörigkeit zusammen mit einem neuen Muster angibt, die Klassenzugehörigkeit von Mustern wird folglich als bekannt vorausgesetzt und dem System durch einen externen Lehrer angegeben wird, ist im Gegensatz dazu beim unüberwachten Lernen dem System die Klassenzugehörigkeit der vorliegenden Stichprobenelemente nicht bekannt.²⁾ In einigen Fällen steht nicht einmal die Zahl der zu bildenden Klassen fest.³⁾ Das System muß daher selbsttätig die klassencharakteristischen Merkmale erkennen und auf der Basis einer Merkmalsanalyse die vorliegenden Muster klassifizieren. Ein Beispiel für unüberwachtes Lernen ist die Entwicklung von Ordnungssystemen in der Biologie.⁴⁾ War ursprünglich die Anzahl der vorkommenden Tier- und Pflanzenarten nur annähernd bekannt, konnte nicht im voraus gesagt werden, zu welcher der wenigen, komplexen Musterklassen ein neues Muster gehörte. Das Problem wurde dadurch gelöst, daß Unterklassen einfacher Muster über mehrere Ebenen gebildet wurden. In diesem Zusammenhang spricht man

-
- 1) Für entsprechende Verfahren s.: Holdermann, Fritz: Separierung durch Kaskadenschaltung von Schwellwertelementen, Diss.Karlsruhe 1969, S.12ff
 - 2) Vgl. Sebestyen, George S.: Decision-Making in Pattern Recognition, New York - London 1962, S.49
 - 3) Vgl. Mertens, Peter, a.a.O., S.781
 - 4) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.284

auch von hierarchisch strukturierten Zerlegungen. Zur Klassifikation in einem unüberwacht lernenden System können statistisch-parametrische Verfahren verwendet werden, bei denen eine Mischungs-Verteilungsdichte bestimmt werden muß. Aber auch der Einsatz von Abstands- oder Ähnlichkeitsmaßen bei der Klassifikation ist möglich, wobei die Zuteilung eines Musters zu einer bestimmten Klasse erfolgt, wenn sich die Homogenität dieser Klasse erhöht und zwischen dieser und den anderen Klassen verringert.¹⁾

Soll die Klasseneinteilung vom System selbst gewählt werden, kann zur Erkennung von Klassen mit ähnlichen Merkmalsstrukturen die Clusteranalyse eingesetzt werden.²⁾

Diesem multivariaten Verfahren zur Aufdeckung von Ähnlichkeitsstrukturen verschiedener Objekte wird für den Aufbau eines FE-Effizienzanalyse-Systems aus mehreren Gründen Vorzug gegeben.

Ein wichtiger Gesichtspunkt ist, daß über die Charakteristiken erfolgreicher und weniger erfolgreicher FE-Abteilungen kaum Vorkenntnisse bestehen. Umfassende Analysen über die wichtigsten, die Effizienz einer FE-Abteilung beeinflussenden Faktoren liegen zur Zeit nicht vor. Lediglich die Wirkungsrelevanz einzelner Variabler wurde in verschiedenen Studien getestet, obwohl schon Chorafas auf einen ganzen Katalog von Variablen hinweist, die alle gemeinsam den Erfolg industrieller FE beeinflussen.³⁾ Existiert aber ein weitgehendes Analysesystem nicht, bestehen auch keine, auf unsere spezielle Problemstellung bezogenen Kenntnisse über die bedingten Wahrscheinlichkeitsdichten, die Kompaktheit der Klassen oder die Anzahl der zu bildenden Klassen. Ansätze zur Klassifikation ohne vorherige Kenntnis der Klassenanzahl bietet aber gerade die Clusteranalyse. Ihre spezifischen Ausgestaltungsformen erlauben auch, nur wenig restriktive Anforderungen an das Skalenniveau der Merkmale

1) Vgl. Fischer, Jürgen H., a.a.O., S.98

2) Vgl. Mertens, Peter, a.a.O., S.783; Niemann, Heinrich, a.a.O., S.302d.

3) Vgl. Chorafas, D.N., a.a.O., S.69

zu stellen. So können metrische, nicht-metrische oder auch gemischt-skalierte Variablen Eingang in die Analyse finden. Die dadurch gewonnen Freiheitsgrade helfen bei der Auswahl von beurteilungsrelevanten Merkmalen. Die Clusteranalyse hat weiterhin den Vorteil, daß sie mit vertretbarem rechnerischen Aufwand maschinell durchgeführt werden kann.¹⁾

3 2 2.2 Anwendung der Mustererkennung im speziellen Fall der Forschungs- und Entwicklungs-Musterextraktion

3 2 2.2 1 Definition der Datenbasis

3 2 2.2 1 1 Anforderungen an das Informationsniveau

Je exakter die in einer Analyse verarbeiteten Informationen sind und je höher das Maß- bzw. Skalenniveau ist, auf dem diese erhoben werden, umso genauere Aussagen sind i.d.R. am Ende des Untersuchungsprozesses möglich. Der Aufwand zur Beschaffung von Informationen ist demgegenüber aber umso geringer, je niedriger das Skalenniveau ist, da mit erhöhtem Skalenniveau auch die Anforderungen an den Dateninput und die Genauigkeit der Messung von Merkmalsausprägungen steigen. Beispielsweise wird leichter auf nur ordinalem Skalenniveau festzustellen sein, ob Grundlagenforschung in einer FE-Abteilung betrieben wird, als auf einer metrischen Skala zu ermitteln, wie hoch genau sich die Aufwendungen dafür belaufen. Es stellt sich also das Optimierungsproblem, Aussagekraft der Analyse und informatorische Fundierung so zu kombinieren, daß, auf die konkrete Aufgabe bezogen, mit möglichst geringem Datenbeschaffungsaufwand die Klassifizierung der FE-Profile erfolgen kann. Da aber im voraus nie feststeht, welche Verbesserung in der Qualität der Analyseergebnisse zusätzliche Informationen erbringen, ist ein derartiges Informationsoptimum praktisch nicht zu

1) Entsprechend vielseitig sind auch die Einsatzgebiete der Clusteranalyse; s.z.B. die Aufzählung der verschiedensten Anwendungsgebiete bei: Späth, Helmut (Hrsg.): Fallstudien zur Cluster-Analyse, München - Wien 1977

bestimmen. Es empfiehlt sich daher, Informationen in einem solchen Umfang zu beschaffen, daß eine befriedigende Klassifikation im Rahmen des Ansatzes dieser Arbeit möglich wird.

Vorbereitende Maßnahmen für die Analyse müssen sich zunächst auf die Auswahl der zu klassifizierenden Objekte und die diese charakterisierenden Merkmale beziehen. Erst nach Durchführung dieser Arbeitsschritte können über geeignete Klassifikationsverfahren Ähnlichkeiten ermittelt werden.

3 2 2.2 1 1 Auswahl der Objekte

Bei der Bestimmung der zu klassifizierenden Objekte ist zu beachten, daß nicht sämtliche FE-Abteilungen aller Unternehmen clusteranalytisch behandelt werden können, da der Aufwand für die Datenbeschaffung und -analyse in den Grenzen des möglichen und sinnvollen gehalten werden muß. Somit stellt sich die Frage nach der erforderlichen Teilmenge aus der Grundgesamtheit.

Um weitgehend sichere Ergebnisse zu ermöglichen, sollte die Stichprobe der Struktur der Grundgesamtheit ähnlich sein. Nur eine hinreichend große und repräsentative Stichprobe rechtfertigt es, von dieser Teilmenge unter Inkaufnahme eines zu vernachlässigenden Stichprobenfehlers auf die Grundgesamtheit zu schließen und eine Übereinstimmung des Merkmalsraumes der Stichprobe mit dem der Grundgesamtheit zu unterstellen. Die Zufallsauswahl genügend vieler Elemente aus der Grundgesamtheit gewährleistet eine solche Stichprobe. Bei einer solchen Auswahlmethode hat jedes Element der Grundgesamtheit die gleiche Chance, auch Element der Stichprobe zu werden.

Unüberwacht lernende Klassifikationsalgorithmen bieten nun die Möglichkeit, auch bei unklassifizierten Stichproben Punkthäufungen ähnlicher Objekte zu identifizieren und zu beschreiben. Auch wenn keine Stichprobenpunkte aus jeder einbezogenen Klasse vorliegen und ohne Kenntnis über die statistische Struktur der Stichprobe sowie der Klassenzugehörigkeit einzelner Stichprobenpunkte, teilweise sogar ohne a priori Wissen über die Zahl der Klassen, können clusteranalytische Verfahren eingesetzt werden.

Voraussetzung für die FE-Profilanalyse ist eine Datenbasis, in der eine ausreichende Zahl von aus den Merkmalsausprägungen ermittelten Profilen industrieller FE-Abteilungen enthalten ist. Die Auswahl der Stichprobe sollte zunächst ohne Zuhilfenahme von Schichtungskriterien, wie Unternehmensbranche oder -größe erfolgen. Der Einfluß derartiger Kriterien auf die Effizienz industrieller FE ist entweder nicht oder nicht ausreichend genug untersucht worden, um eindeutige und zweifelsfreie Aussagen zu treffen. Im Rahmen der Diskussion um die Bedeutung der Unternehmensgröße kann beispielsweise auf die These Schumpeters verwiesen werden, der Wettbewerb großer Unternehmen sei der eigentliche Antrieb für Schaffung und Verbreitung neuer Produkte und Verfahren.¹⁾ Im Gegensatz zu dieser These der allgemeinen Überlegenheit großer Unternehmen stehen die Erkenntnisse Coopers, der nach einer empirischen Analyse zum gegenteiligen Ergebnis gelangte. Gemäß den Ergebnissen dieser Studie arbeiten mittlere und kleine Unternehmen im FE-Bereich effizienter als ihre großen Konkurrenten.²⁾ Besteht eine Größenunabhängigkeit der Effizienz, so wird diese in den weiteren Schritten des Analysesystems auch erkannt. Zunächst können aber bei der Auswahl der Objekte noch keine definitiven Aussagen getroffen werden, die es erlauben, die Stichprobe nur mit Unternehmen einer bestimmten Größenordnung zu besetzen.

Andere Einflußfaktoren, die potentielle Vorauswahlkriterien sein könnten, sind in ihren Wirkungen kaum untersucht worden. Vorhandene Analysen beziehen sich lediglich auf die Möglichkeit des Einflusses dieser Faktoren auf das FE-Budget.³⁾ Deckt aber das hier diskutierte System eine starke Bedeutung derartiger Faktoren für die Trennung der Objekte

-
- 1) Vgl. Schumpeter, Joseph A.: Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie, München 1950, S.174f.
 - 2) Vgl. Cooper, A.C.: R+D is More Efficient in Small Companies, in: HBR, Vol.42, H.3, 1964, S.75ff.
 - 3) s.Brockhoff, Klaus: Forschungsprojekte und Forschungsprogramme: Ihre Bewertung und Auswahl, Wiesbaden 1973, S.207 und die dort angegebene Literatur

auf, so können diese später für eine Zerlegung von komplexen in einfache Muster dienen.

Ist eine repräsentative Stichprobe ausgesucht, ermöglichen die zur Klassifikation eingesetzten clusteranalytischen Verfahren, Kenntnisse, über die Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen einer endlichen Menge von Objekten zu gewinnen und zu analysieren. Zur Beschreibung dieser Objekte wird eine begrenzte Menge geeigneter Merkmale ausgewählt, die Ausprägung der Merkmale über jedes Objekt ermittelt und in einem Objektvektor erfaßt. Die Ähnlichkeit der Objekte wird schließlich durch den Grad der Übereinstimmung der Merkmalsausprägungen beschrieben.

3 2 2.2 1 2 Merkmale zur Klassifikation industrieller Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche

Die Zahl der Merkmale zur Erfassung der spezifischen Charakteristika industrieller FE-Abteilungen muß begrenzt bleiben, soll die Analyse in wirtschaftlich vertretbarem Rahmen durchgeführt werden. Die Merkmalsauswahl bestimmt aber nicht nur weitgehend den im Klassifikationsprozeß zu betreibenden Aufwand, sie hat auch große Bedeutung für die spätere Wahl des Ähnlichkeitsmaßes und des Klassifikationsverfahrens. Die Merkmale können dabei von Untersuchung zu Untersuchung verschiedene Skalenniveaus haben. Merkmale, die quantitative Größen messen, wie den Aufwand für FE eines Unternehmens, liegen auf metrischem Niveau. Es können aber auch Variablen zur Erfassung qualitativer Aspekte auf Nominal- oder Ordinalskalenniveau extrahiert werden. Manche Untersuchungen verlangen die Einbeziehung sowohl quantitativ als auch qualitativ ausgeprägter Faktoren. In diesen Fällen liegt ein 'mixed-data' Problem vor. Auch für derartige Fälle liefern Clusteranalysen Anhaltspunkte für eine Datenaufbereitung.

Erfolgt die Auswahl der Kriterien zur Objektbeurteilung auf heuristischem Wege, setzt dies im wesentlichen subjektive Entscheidungen voraus. Dabei werden hauptsächlich vom Ziel der Klassifikation her Anhaltspunkte für die Merkmalsauswahl gewonnen, da diese die Klassifikation sowohl direkt,

als auch indirekt über die Folgewirkungen auf die Wahl geeigneter Ähnlichkeitsmaße und Klassifikationsalgorithmen entscheidend determiniert. Voraussetzung für brauchbare Klassifikationsergebnisse sind vor allem Merkmale, die für das angestrebte Ziel sachlich relevant sind und in bezug auf dieses Ziel eine zumindest annähernd gleiche Bedeutung haben. Klassifikationsmerkmale sind sachlich relevant, wenn sie die zu klassifizierenden Objekte hinsichtlich des angestrebten Ziels angemessen und ausreichend beschreiben.¹⁾ Die Merkmale müssen aber nicht nur für das jeweilige Ziel der Klassifikation relevant sein, sie müssen auch eine für die Klassenbildung annähernd gleiche Bedeutung haben. Diese Forderung folgt daraus, daß der Grad der Ähnlichkeit von Objekten nur aufgrund der Klassifikationsmerkmale quantifiziert werden kann. Haben diese aber bei der Bestimmung des Ähnlichkeitsgrades unterschiedliche Bedeutung, so wird nicht eine totale Ähnlichkeit über alle Kriterien ermittelt, sondern es werden partielle Ähnlichkeiten übergewichtet, da u.U. mehrere Merkmale gemessen werden, die im Grunde gleiche Sachverhalte erfassen und daher zu einem Faktor zusammengefaßt werden können. Selbst unter Beachtung dieser Regeln bleibt einschränkend zu bemerken, daß bei der Auswahl der Merkmale immer a priori-Ansichten zur Relevanz der ausgewählten Merkmale bestehen, womit gleichzeitig gewichtete subjektive Elemente in die Analyse eingehen.

Anhaltspunkte für die konkrete Auswahl der Klassifikationsmerkmale liefern vielfältige Studien, in denen die verschiedensten Aspekte der FE-Tätigkeit untersucht wurden. Einige Arbeiten nennen dabei ganze Kataloge von Faktoren,²⁾

1) Vgl. Vogel, F., a.a.O., S.50.

2) s.u.a. Chorafas, D.N., a.a.O., S.69; Rubenstein, Albert H.: Setting Criteria for R+D, a.a.O., S.99; McNeill, W.J.: Evaluating the Cost and Utility of Industrial Research and Development, in: Rubenstein, Albert H. (Hrsg.), a.a.O., S.236-245; Stahl, Michael J.: Innovation and Productivity in Research and Development: Some Associated Individual and Organizational Variables, Diss. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York 1975

von denen vermutet wird, daß sie Einfluß auf die Produktivität der FE haben, andere betrachten lediglich wenige Einzelgrößen in bestimmten Problembereichen.¹⁾

Die Gesamtheit der behandelten Variablen bezieht sich auf die Produktionsfaktoren, deren Qualitäten und Einsatzmengen, auf die organisatorischen Fragen, sowie Planung und Kontrolle industrieller FE.

-
- 1) s.u.a.: Gerstenfeld, Arthur: Technical Interaction among Engineers and Its Relation to Performance, Diss. Massachusetts Institute of Technology 1967; ders.: Effective Management of Research and Development, Reading, Mass. 1970; ders.: A Study of Successful Projects, Unsuccessful Projects, and Projects in Process in West Germany, in: IEEE, Vol.EM-23, 1976, S.116-123; Rubenstein, Albert H.: Some Common Concepts and Tentative Findings from a Ten-Project Program of Research on R&D Management, in: Yovits, M.C.; D.M.Gilford, R.H.Wilcox; E.Staveland; H.D.Lerner (Hrsg.), a.a.O., S.399-424; Shepard, Herbert A.: Creativity in R/D-Teams, in: Research and Engineering, October 1956, S.10-13; Lehmann, Hervey C.: The Age Decrement in Outstanding Scientific Creativity, in: The American Psychologist, Vol.15, 1960, S.128-134; Marquis, A.G. und D.M.Straight, a.a.O., S.441-458; Andrews, Frank M.: Creative Ability, The Laboratory Environment, and Scientific Performance, in: IEEE, Vol.EM-14, 1967, S.76-83; Pelz, Donald C. und Frank M.Andrews: Scientist in Organizations, New York - London - Sydney 1966; Paßmann, Bodo, a.a.O.; Rossmann, Joseph: Industrial Creativity. The Psychology of the Inventor, New York 1964; Balderston, Jack, a.a.O., S.209-224; Stewart, N. und W.Sparks: Patent Productivity of Research Chemists as Related to Age and Experience, in: Personnel and Guidance Journal, Vol.45, 1966, S.28-36; Taylor, C.W. und R.L.Ellison: Biographical Predictors of Scientific Performance, in: Science, Vol.55, 1967, S.1075-1080; Evan, William M.: Conflict and Performance in R&D-Organizations: Some Preliminary Findings, a.a.O., S.37-46; ders.: Superior - Subordinate Conflict in Research Organization, in: ASQ, Vol. 10, 1965, S.52-64; Gordon G. und S.Marquis: Freedom, Visibility of Consequences and Scientific Innovation, in: American Journal of Sociology, Vol.72, 1966, S.195-202; Farris, G.F., a.a.O., S.87-92; Schwetlick, Wolfgang: Forschung und Entwicklung in der Organisation industrieller Unternehmen, Berlin 1973; Rückemann, Eckehard: Anforderung an eine Integration der Forschungs- und Entwicklungsaufgabe in das System der Unternehmung, in: ZfO, 42.Jg., 1973, S.387-392; ders.: Integrationsformen industrieller Forschung und Entwicklung, Diss. Mannheim 1972; Steck, Rudolf: Organisation der Forschung und Entwicklung in multidivisionalen und multinationalen Unternehmungen, in: ZfO, 41.Jg., 1972, S.19-25 u. S.90-94

Bei der Auswahl des Merkmalsatzes ist, wie oben schon zum Ausdruck kam, auf möglichst geringe Dimensionalität und auf möglichst weitgehende Redundanzfreiheit zu achten. Unter diesen Gesichtspunkten werden im folgenden Variablen zur Erfassung der Querschnittsprofile industrieller FE-Abteilungen vorgeschlagen.

Kriterien, die zunächst allgemeine Charakteristika des FE-Bereichs eines Unternehmens erfassen, sind:

1. Unternehmensbranche,
2. FE-Aufwand in Prozent des Gesamtaufwandes,
3. Prozentuale Aufteilung des FE-Aufwandes auf Grundlagenforschung, Angewandte Forschung und Entwicklung,
4. Verhältnis von Produkt- zu Verfahrensforschung,
5. Verhältnis von lang- zu kurzfristigen Projekten,
6. Formen industrieller FE im Unternehmen (Unternehmensinterne, Gemeinschafts-, Auftragsforschung),
7. Beschäftigtenzahl im FE-Bereich,
8. Unternehmensspezifische Kriterien zur Festlegung der FE-Aufwendungen,
9. Amortisationsdauer der FE-Aufwendungen,
10. Erfolgswahrscheinlichkeit der FE-Aufwendungen,
11. Verhältnis von Personal- zu Sachaufwand im FE-Bereich.

Fragen zur organisatorischen Gestaltung und Kommunikationsstruktur betreffen folgende Variablen:

12. Interne Organisation des FE-Subsystems,
13. Art der Einbindung der FE-Organisation in die Unternehmensorganisation,
14. Kontakte zu unternehmensexternen Institutionen wie Universitäten oder technische Vereinigungen,
15. Kontakte zu anderen Unternehmensabteilungen wie Produktion oder Marketing,
16. Allgemein zugängliche und systematische Speicherung der FE-Ergebnisse,
17. Relativer Zeitaufwand für Dokumentation und Berichterstattung,
18. Ideenquellen für FE-Projekte (Nachfrage versus Anbieter-Seite).

Die hohe Arbeitsintensität der FE¹⁾ erfordert auch die Einbeziehung von Kriterien zur Erfassung der verschiedenen Aspekte menschlicher Arbeit in FE-Abteilungen:

19. Vorbildung des FE-Personals, gemessen am Anteil der Akademiker am Gesamt-FE-Personal,
20. Durchführung regelmäßiger Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen,
21. Durchschnittliches Alter des Personals in der FE,
22. Flexible Arbeitszeitregelung,
23. Leistungsanreize über besondere monetäre oder nicht-monetäre Entgelte.

Die Beschreibung von Objekten über verschiedene Merkmale und deren für die weitere Verarbeitung notwendige Anordnung in einer Datenmatrix wirft die Fragen nach einer angemessenen Anzahl von Variablen, deren Skalenniveaus und u.U. vorhandenen gegenseitigen Abhängigkeiten, sowie nach deren Gewichtung auf.

Anhaltspunkte für die Bedeutung einzelner Merkmale liefern nicht die Methoden der Clusteranalyse, sie können lediglich aus dem theoretischen Bezug zum Untersuchungsobjekt gewonnen werden. Einen derartigen Bezug weisen zwar alle oben vorgeschlagenen Variablen auf, im Interesse der Aufgaben der Analyse kann sich aber eine Aussonderung der Merkmale als sinnvoll erweisen, deren geringe Bedeutung für die Untersuchung erst im Nachhinein erkannt wird. Weiterhin empfiehlt sich der Ausschluß von Variablen, die funktional voneinander abhängig oder die konstant in dem Sinne sind, daß sie für alle untersuchten Objekte die gleiche Ausprägung aufweisen.²⁾ Gleichartige Ausprägungen von Variablen über die Mehrzahl von Objekten haben bei der Klassifikation nivellierende Effekte. Wegen ihrer geringen oder nicht vorhandenen Trennfähigkeit können sie vernachlässigt werden. Bei binären Merkmalen empfiehlt sich eine Aussonderung

1) s.die Angaben bei Collinson, H.A., a.a.O., S.102 und McIlvain, J.M.: The Research Budget, in: Furnas, C.C. (Hrsg.): Research in Industry, Toronto - London 1948, S.148

2) Vgl. Berge, Siegfried: Optimalität bei Clusteranalysen, Diss.Münster 1981, S.53f.

von Merkmalen, wenn ein bestimmter Aspekt bei den untersuchten Objekten fast immer oder nie auftaucht. Empfohlen wird, Klassifikationsmerkmale mit einer relativen Häufigkeit von $p \leq 0,05$ (analog dazu $p \geq 0,95$) aus der Untersuchung auszuschließen.¹⁾

Im Fall metrischer Merkmale kann als Maß für die Streuung der Ausprägungen die Varianz herangezogen werden. Ist diese für die Gesamtzahl der Objekte sehr klein, ähneln sich die Ausprägungen stark. Gleiche oder ähnliche Ausprägungen bei allen Objekten haben aber keine Bedeutung im Hinblick auf die Klassifikation, da sie zur Separation keinen Beitrag liefern können.

Weiterhin ist auch die Frage der Erfassung von stochastischen Abhängigkeiten bzw. Korrelationen zwischen den Merkmalen zu klären. Zwar sind Korrelationen zwischen Klassifikationsmerkmalen unvermeidbar,²⁾ berücksichtigt man aber hoch korrelierte Variable gemeinsam in einer Untersuchung, wird der hinter diesen Variablen stehende Faktor durch die mehrfache Einbeziehung in die Analyse stärker gewichtet als ein Faktor, der nur anhand einer Variablen gemessen wird. Zur Ausschaltung von Korrelationen bieten sich, wie oben schon kurz erwähnt, mehrere Möglichkeiten, die sich jedoch alle lediglich auf metrische Merkmale beziehen:³⁾

- Vorschalten einer Faktorenanalyse

Eine implizite Gewichtung durch Verwendung hoch korrelierter Variabler kann durch eine Faktorenanalyse vermieden werden. Sie verdichtet die Ausgangsvariablen auf orthogonale Faktoren, zwischen denen keine Korrelationen auftreten. Bei der Durchführung der Clusteranalyse werden dann alle diese Faktoren gleichgewichtet. Probleme beim Vorschalten der Faktorenanalyse bestehen aber darin, daß die Interpretation der Faktoren und damit auch der Faktorenwerte Schwierigkeiten bereitet und weiterhin ein Teil der Ausgangsinformationen ver-

1) Vgl. Vogel, F., a.a.O., S.71

2) Vgl. ebenda, S.59

3) s.zum folgenden: Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; W. Plinke; B.Erichson; R.Weiber: Multivariate Analysemethoden, 4.Aufl., i.V., S.110

lorengiht. Zudem ist die Gleichgewichtung dann angreifbar, wenn davon ausgegangen wird, daß ein Faktor, hinter dem mehrere Variable stehen, tatsächlich einen wichtigeren Aspekt erfaßt, als ein Faktor mit nur einer auf ihn hoch ladenden Variablen. Hat dann vorher ein einflußreicher Faktor durch mehrere Variablen automatisch ein höheres Gewicht in der Clusteranalyse gehabt, entfällt diese dem Problemkreis unter Umständen angemessene Gewichtung bei Verwendung unabhängiger Faktoren.¹⁾

- Verwendung der Mahalanobis-Distanz

Wird dieses Proximitätsmaß verwendet, können schon im Rahmen der Distanzberechnung etwaige Korrelationen zwischen den Variablen ausgeschlossen werden. Die Mahalanobis-Distanz stellt allerdings Anforderungen an das Datenmaterial, die im Rahmen von Clusteranalysen häufig nicht zu erfüllen sind. Insbesondere die Gleichgewichtung von unbedeutenden und bedeutenden Hauptkomponenten, sowie die Voraussetzung einheitlicher Mittelwerte der Variablen in allen Gruppen, sind unerwünschte und die Verwendungsfähigkeit einschränkende Eigenschaften dieses Distanzmaßes.²⁾

- Ausschluß korrelierter Variabler

Ein Merkmal, welches mit einem anderen dem Betrage nach hoch korreliert, liefert im Rahmen einer Analyse keine zusätzlichen Informationen. Daher ist abzuwägen, ob eine derartige Variable nicht aus der Untersuchung auszuschließen ist. Zu beachten bleibt dabei aber, daß der erlaubte Grenzwert des Korrelationskoeffizienten (r^*) nur subjektiv festgelegt werden kann.³⁾

1) Vgl. Bergs, Siegfried, a.a.O., S.57

2) Vgl. Vogel, F., a.a.O., S.89ff.

3) Genannt werden in der Literatur betragsmäßig stark differierende Grenzen. Einen Wert von $|r^*| > 0,9$ nennen Schuchard-Ficher, C.; K.Backhaus; W.Plinke: B.Erichson; R.Weiber, a.a.O., S.110. Vogel bezieht sich auf eine Untersuchung mit $|r^*| = 0,5$ als untere Grenze. Vgl. Vogel, F., a.a.O., S.61

Anwendbar bleibt dieses Verfahren zur Merkmalsreduktion aber nur bei metrischen Merkmalen, für binäre Merkmale gibt es keine theoretisch oder praktisch befriedigende Möglichkeit zum Ausschluß von Merkmalskorrelationen.¹⁾ Hier kann ein Ansatz zur Dimensionsreduktion nur durch Häufigkeitszählungen von gemeinsamen oder nur nicht gemeinsamen Merkmalen erfolgen.

Das Problem der unangemessenen Gewichtung tritt aber auch in anderer Hinsicht auf. Werden zur Charakterisierung eines Untersuchungsobjektes, beispielsweise der Wirtschaft eines Landes, die beiden Merkmale Bruttosozialprodukt, gemessen in Milliarden DM und Arbeitslosenquote, ausgedrückt in einer Prozentzahl, erhoben, hat ohne geeignete Transformationen nur das erstere Merkmal eine entscheidende Bedeutung, da die Differenzen beim ersten Merkmal wesentlich größer als beim zweiten sind. Die Differenzen zwischen den Merkmalsausprägungen können alleine dadurch vergrößert werden, daß ein Merkmal auf einer sehr fein dimensionierten Skala erhoben wird.

Bergs zeigt diesen Effekt am Beispiel der Unterschiede der Clusterergebnisse von Kraftfahrzeugen, die durch die Messung der Preiskomponente einmal in DM und ein andermal in \$ erfolgt.²⁾

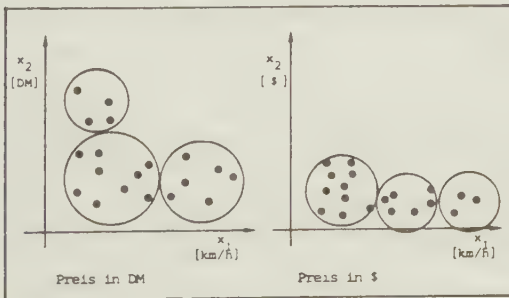


Abb.17: Unterschiedliche Clusterung in Abhängigkeit der Feinheit von Maßeinheiten

Quelle: Bergs, Siegfried, a.a.O., S.58

1) Vgl. Vogel, F., a.a.O., S.61 u. 67
2) Vgl. Bergs, Siegfried, a.a.O., S.58

Abb.17 zeigt deutlich, daß die Trennschärfe des Merkmals Preis abnimmt, wenn die Ausprägungen in der gröberen Einteilung \$ statt DM erhoben wird.

Eine Vergleichbarkeit der auf verschiedenen Dimensionen erfaßten Merkmale kann vor Beginn der eigentlichen Analyse durch verschiedene normierende Transformationen erreicht werden.¹⁾

Ein häufig verwendetes Verfahren, dem auch für die hier vorgeschlagene Untersuchung Vorzug gegeben werden kann, ist die Standardisierung bzw. Z-Transformation. Die Abbildungsvorschrift

$$(3.6) \quad x_{ij} \rightarrow \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

mit $\bar{x}_j$ als Mittelwert der j-ten Variablen, x_{ij} als Ausprägung der j-ten Variablen bei Objekt i und s_j als Standardabweichung von Merkmal j, und mit

$$(3.7) \quad s_j = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2}$$

normiert die Mittelwerte der Variablen auf 0 und die Standardabweichung auf 1.

In dem oben vorgestellten Katalog liegen Merkmale vor, die teils auf qualitativem und teils auf quantitativem Niveau zu extrahieren sind.

Es kommen folglich gleichzeitig verschieden skalierte Variablen vor, die alle gemeinsam Eingang in die Analyse finden sollen.

Die wichtigsten Ansätze der Vorerarbeitung derartiger gemischt-skaliertter Variablensätze sind:¹⁾

-
- 1) Zu einer Übersicht der Transformationsverfahren s.z.B.: Bergs, Siegfried, a.a.O., S.59f.
 - 2) s.u.a.: Steinhausen, Detlef und Klaus Langer: Clusteranalyse, Berlin - New York 1977, S.63f; Vogel, F., a.a.O., S.72ff; Bock, Hans Herrmann: Automatische Klassifikation, Göttingen 1974, S.76f; Späth, Helmut: Clu-

- a) Transformation von einem höheren auf ein niedrigeres Skalenniveau (Niveau-Regression)
- b) Transformation von einem niedrigeren auf ein höheres Skalenniveau (Niveau-Progression)
- c) Getrennte Ermittlung von Ähnlichkeits- bzw. Distanzmaßen in einem gewichteten oder ungewichteten Mittelwert.

ad a) Unter dem Aspekt der Gegenstandsangemessenheit ist die Vorgehensweise unproblematisch. Die metrischen Merkmale werden auf das niedrigste im Variablenset vorhandene Skalenniveau transformiert. Möglichkeiten dazu bieten die Verfahren der Dichotomisierung, des Aufspaltens in selbstständige lineare Merkmale und des Codierens.¹⁾

Nach Abwägung der Vor- und Nachteile dieser Niveaureduktionsverfahren kommt Vogel zu dem Ergebnis, daß die einfache Dichotomisierung die "sympathischste Lösung" ist,²⁾ da bei den beiden anderen der erhebliche Nachteil in der je nach Aufspaltung der Intervalle starken Gewichtsverlagerung zwischen den Variablen liegt. Aber auch die Dichotomisierung hat neben dem Vorteil der Vermeidung ungewünschter Abhängigkeiten und ihrer Einfachheit gravierende Nachteile einmal dadurch, daß der größte Teil der Informationen verloren geht und andermal die Festlegung der Schnittstelle nur willkürlich erfolgen kann, was aber wieder leicht zur Verzerrung der realen Gegebenheiten führen kann.

ad b) Eine Niveauprogression von einem niedrigen auf ein hohes Skalenniveau ist in den meisten Fällen unzulässig. Höhere Skalen stellen Implikationen, welche Daten, die auf niedrigerem Skalenniveau erhoben wurden, nur selten erfüllen. Ein Vorschlag bei Vorliegen nominaler Daten geht da-

ster-Analyse Algorithmen zur Objektklassifizierung und Datenreduktion, München - Wien 1977, S.31f; Kaufmann, Heinz und Hans Pape: Clusteranalyse, in: Fahrmeier, Ludwig und Alfred Hamerle (Hrsg.): Multivariate statistische Verfahren, Berlin - New York 1984, S.386f.

1) Für eine ausführliche Darstellung dieser Methoden s.: Vogel, F., a.a.O., S.73ff u. Schuchard-Fischer, C.; K. Backhaus; W. Plinke; B. Erichson; R. Weiber, a.a.O., S.127ff.

2) Vogel, F., a.a.O., S.77

hin, sie gemäß ihrer Häufigkeit in eine Rangreihe zu bringen und somit auf eine ordinale Variable abzubilden.¹⁾ Eine Rangreihe auf Basis von Häufigkeiten wird aber in der Mehrzahl der Fälle nicht die Relevanz der Ausprägungen widerspiegeln.

ad c) Die dritte Möglichkeit der gemeinsamen Berücksichtigung unterschiedlicher Skalenniveaus ist die getrennte Berechnung von Ähnlichkeitskoeffizienten bzw. Distanzen und ihre anschließende Vereinigung in einem gewichteten oder ungewichteten Mittelwert. Liegen, wie in unserem Fall, nominal und kardinal skalierte Daten vor, wird gemäß dieser Methode die Gesamtdistanz d_{ij} zwischen zwei Objekten i und j gebildet aus dem Mittelwert der Distanzen, die getrennt für die kardinal (d^K) und nominal (d^N) ausgeprägten Merkmale ermittelt wurden.

$$(3.8) \quad d_{ij} = \frac{f^N_{d^N_{ij}} + f^K_{d^K_{ij}}}{2}$$

Sind f^N und f^K als spezielle Gewichtungsfaktoren gleich eins, wird das ungewichtete arithmetische Mittel berechnet. Andere Werte für f^N und f^K können extern willkürlich vorgegeben werden. Häufig werden diese auch nach $f^N = m^N/m$ und $f^K = m^K/m$ bestimmt, wobei m die Gesamtzahl der Variablen und m^N bzw. m^K die Zahl der nominal bzw. kardinal skalierten Merkmale bezeichnet.²⁾

Die Wahl der für den gemischten Datensatz geeignetsten Methode hat sich im Hinblick auf die Aussagekraft der Analyse an dem konkreten Untersuchungsgegenstand auszurichten. Bevor die Merkmale aber in der Analyse weiterverarbeitet werden können, müssen diese noch aufbereitet und in eine für die Datenextraktion endgültig geeignete Form gebracht

1) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.63
 2) Vgl. ebenda, S.64

werden. Dazu ist auch festzulegen, welche konkreten Ausprägungen die nominalen Variablen mit mehr als zwei Kategorien haben können. In diesem Sinne näher zu betrachten sind besonders die Merkmale Interne Organisation, Art der Einbindung in die Unternehmensorganisation und Ideenquellen für FE-Projekte.

Schwetlick berichtet über eine Untersuchung von Stanley und White zur internen Organisation der FE-Abteilung bei über 200 Unternehmen.¹⁾ Diese Studie brachte im wesentlichen sechs verschiedene Organisationstypen hervor, die nach folgenden Gesichtspunkten untergliedert sind (Beispiele der Gliederungstypen gibt Abb.18):

- Sachgebiete bzw. wissenschaftliche Disziplinen,
- Produktgruppen,
- Prozeßtypen,
- Produkt- oder Verfahrensforschung,
- FE-Stufen,
- Projekte.

1) Zur Erläuterung der FE-Formen s. Kap. 1 2 2.3

2) s.Stanley, A.O.; K.K.White: Organizing the R+D-Function, AMA Research Study 72, 1965, zitiert bei Schwetlick, Wolfgang, a.a.O., S.115

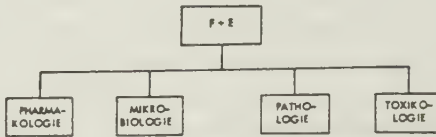


Abb.18.1: Gliederung nach Sachgebieten

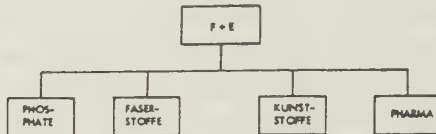


Abb.18.2: Gliederung nach Produktgruppen

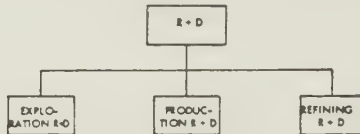


Abb.18.3: Gliederung nach Prozeßtypen



Abb.18.4: Gliederung nach Produkt- oder Verfahrensforschung



Abb.18.5: Gliederung nach FE-Stufen

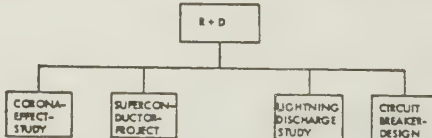


Abb.18.6: Gliederung nach FE-Projekten

Abb.18: Untergliederungstypen von FE-Subsystemen

Quelle: Schwetlick, Wolfgang, a.a.O., S.115ff.

Eine eindeutige Überlegenheit einer Untergliederungsform läßt sich nicht erkennen, vielmehr weisen alle diese Formen verschieden Vor- und Nachteile im Hinblick auf Bedarf und Rekrutierung von Aufgabenträgern, der Nutzung der Kenntnisse der Aufgabenträger, der Koordination, des Kommunikationsumfanges und der Kontrolle auf.¹⁾

Für die Einbeziehung dieses Merkmals in die Untersuchung werden diese Organisationstypen als Grundlage zur Aufstellung sechs binärer Merkmale verwendet, wobei von diesen jeweils die Ausprägung eine 1 erhalten soll, der die interne FE-Subsystem-Organisationsstruktur des betrachteten Unternehmens am nächsten kommt.

Bedeutsam im Hinblick auf den FE-Erfolg ist auch die Stellung des FE-Subsystems in der Gesamtorganisation eines Unternehmens, da hierdurch der Informationsfluß zu und von anderen Abteilungen und die Möglichkeiten der Einflußnahme der Unternehmensleitung auf das FE-Subsystem, umgekehrt aber auch die Bedeutung der FE-Abteilung im Unternehmen bestimmt wird.

Grundsätzlich lassen sich drei Möglichkeiten der organisatorischen Eingliederung der FE-Abteilung unterscheiden.²⁾ Im einzelnen sind dies die Einbindung als Hauptabteilung, wobei die FE dann rangordnungsmäßig gleichberechtigt neben den anderen Unternehmensabteilungen steht, als Stabsabteilung und als Unterabteilung einer übergeordneten (Haupt-)Abteilung.

Die drei verschiedenen Ausprägungsmöglichkeiten können durch drei binäre Merkmale repräsentiert werden, wobei wiederum das Kriterium mit einer 1 versehen wird, welches dem Zustand im jeweiligen Unternehmen am ehesten entspricht.

1) Vgl. Schwetlick, Wolfgang, a.a.O., S.117

2) Vgl. Mellerowicz, Konrad: Die Organisation des Forschungs- und Entwicklungsbereichs, in: Schnauffer, Erich und Klaus Agthe (Hrsg.): TFB-Handbuchreihe, Erster Band, Berlin - Baden Baden 1961, S.650ff; s.auch: Heuer, Georg Christian, a.a.O., S.110 und Geschka, H., a.a.O., S.89

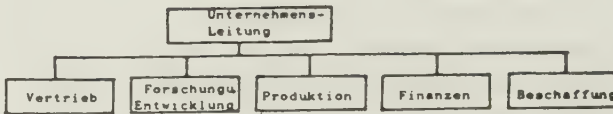


Abb.19.1.: Eingliederung als Hauptabteilung

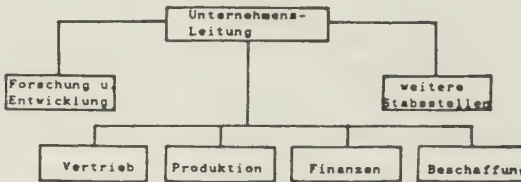


Abb.19.2.: Eingliederung als Stabsabteilung

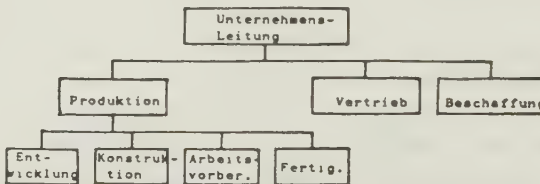


Abb.19.3.: Eingliederung als Unterabteilung

Abb.19: Eingliederungsmöglichkeiten des FE-Subsystems
in das Unternehmen

Quelle: Heuer, Georg Christian, a.a.O., S.111

Anregungen für FE-Projekte können von außerhalb der FE-Abteilung kommen, oder sie werden von den dort Beschäftigten selbst generiert. Entsprechend kann zwischen nachfrage- und anbieterseitig initiierten Projekten unterschieden werden. Vor allem über die erfolgreiche Durchführung von durch die Nachfrage-Seite angeregten Projekten wird berichtet, da hier eine weit geringere Gefahr als bei anbieterseitig orientierten Projekten besteht, am Markt vorbei zu innovieren.¹⁾ Trotzdem findet sich aber in einer großen Zahl von Unternehmen die Methode, von der Anbieter-Seite her vorzugehen.

Das Kriterium wird für die Abfrage in zwei binäre Merkmale aufgespalten und die Variable mit einer 1 versehen, nach der in der Mehrzahl der FE-Projekte in der betrachteten FE-Abteilung gearbeitet wird.

Bei allen metrischen Merkmalen werden die entsprechenden quantitativen Ausprägungen direkt erhoben. Um Verzerrungen der Ergebnisse durch mangelnde Vergleichbarkeit zu vermeiden, muß auf eine einheitliche Definition der relevanten Begriffe geachtet werden, wie sie im Kapitel Grundlagen dieser Arbeit gegeben werden.

Bisher noch nicht angesprochen wurden die Fälle fehlender oder ungültiger Daten. Verschiedene Verfahren zur Umgehung oder Lösung dieses Problems liegen darin, es einfach zu ignorieren und weiterzurechnen, als gäbe es keine fehlenden Daten, oder fehlende Merkmalsausprägungen zu kodieren und Merkmalspaare mit einer oder zwei Kodierungen nicht in die Ermittlung des Ähnlichkeits- bzw. Distanzmaßes einzubeziehen. Andere Alternativen sind die Elimination von Merkmalen mit fehlenden Ausprägungen und die Schätzung einzelner Parameter über Erwartungs- oder Mittelwerte.²⁾

1) Vgl. Gerstenfeld, Arthur: A Study of Successful Projects, Unsuccessful Projects and Projects in Process in West Germany, a.a.O., S.116

2) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.176; Vogel, F., a.a.O., S.77

3 2 2.2 2 Klassifikation der Forschungs- und
Entwicklungs-Bereiche

3 2 2.2 2 1 Klassifikation der Forschungs- und Entwick-
lungs-Muster mit Hilfe der Clusteranalyse

Sind über alle Untersuchungsobjekte die Merkmale erhoben worden, erfolgt nach der Aufbereitung der Daten die Klassifikation der FE-Querschnittsprofile mit Hilfe der Clusteranalyse. Diese Datenanalysemethode zählt zu den Klassifikationsverfahren, die unüberwacht arbeiten, und dient dazu, unbekannte Musterklassen zu erkennen. Anwendung findet sie, wenn keine a priori-Kenntnisse über die Zerlegung von Objekten vorliegen und lediglich bekannt ist, daß ein Muster einer der in der Datenstruktur vorhandenen Klassen zugeordnet werden kann.¹⁾ Allgemeines Ziel der Clusteranalyse ist die vereinfachende Darstellung der Struktur einer vorgegebenen Menge von Elementen.²⁾ Gleichartige oder ähnliche Objekte werden anhand von Merkmalsausprägungen zu möglichst homogenen Klassen zusammengefaßt. Dadurch läßt sich die Struktur einer beobachteten Objektmenge vereinfacht darstellen und eine optimale bzw. möglichst zweckmäßige Gruppierung konstruieren,³⁾ aus der die wesentlichen Charakteristika der Strukturen der Objektmenge erkannt werden können. Zur Durchführung der Clusteranalyse sind gewissen Voraussetzungen zu erfüllen und verschiedene Entscheidungen zu treffen.

Nach der Merkmalsextraktion und -aufbereitung, wie sie im vorhergehenden Kapitel erläutert wurde, ist die Wahl des Ähnlichkeits- bzw. Distanzmaßes vorzunehmen und das geeignete Klassifikationsverfahren zu bestimmen.

1) Vgl. Niemann, Heinrich, a.a.O., S.282ff.

2) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.14

3) Vgl. Bock, Hans Herrmann, a.a.O., S.1ff.

3 2 2.2 2 2 Quantifizierung der Ähnlichkeit bzw. der
Distanz zwischen den Forschungs- und
Entwicklungs-Bereiche

Wesentlicher Bestimmungsfaktor für die Wahl eines geeigneten Ähnlichkeits- oder Distanzmaßes ist das Skalenniveau der für die Charakterisierung der FE-Abteilungen verwendeten Merkmale.

Dabei ist auch zu beachten, daß die Verwendung verschiedener der zur Wahl stehenden Ähnlichkeits- bzw. Distanzmaße einerseits erhebliche Auswirkungen auf die Klassifikationsergebnisse haben kann, andererseits die Stärke des Einflusses unterschiedlicher Maße nicht unabhängig vom jeweiligen Klassifikationsverfahren und den im Datensatz effektiv vorhandenen Ähnlichkeitsstrukturen ist.¹⁾

Ausgangspunkt jeder Clusteranalyse ist die aus der Ausgangsdatenmatrix mit n Objekten und m Variablen (s. Abb. 20.1) zu ermittelnde Distanz- bzw. Ähnlichkeitsmatrix, die immer eine quadratische Form hat²⁾ (s. Abb. 20.2).

Bezeichnet d die Distanz zwischen zwei Objekten P und Q, so läßt sich unter der Bedingung, daß

$$(3.9) \quad d(P,P) = 0$$

$$(3.10) \quad d(P,Q) = d(Q,P)$$

$$(3.11) \quad d(P,Q) = 0, \text{ wenn } P = Q$$

die Distanzmatrix mit den Proximitätszahlen immer in eine Dreiecksmatrix überführen.

Bei der Berechnung der Proximitätsmaße werden die Merkmalsausprägungen bei je zwei Objekten verglichen und Übereinstimmungen bzw. Unterschiede in einer Zahl, welche deren Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit ausdrückt, zusammenge-

1) Vgl. Vogel, F., a.a.O., S.80f.

2) Vgl. Schuchard-Fischer, C., K.Backhaus; W.Plinke; B.Erichson; R.Weiber, a.a.O., S.111

		Merkmale		
		1	2	m
Objekte	1	O_{11}	O_{12}	 O_{1m}
	2	O_{21}	O_{22}	 O_{2m}
	.	.	.	
	.	.	.	
	.	.	.	
	n	O_{n1}	O_{n2}	 O_{nm}

Abb.20.1: Ausgangsdatenmatrix

		Objekte		
		1	2	n
Objekte	1	0	$d_{1,2}$	 $d_{1,n}$
	2	$d_{2,1}$	0	 $d_{2,n}$
	.	.	.	
	.	.	.	
	.	.	.	
	n	$d_{n,1}$	$d_{n,2}$	0

Abb.20.2: Distanzmatrix

Abb.20: Ausgangsdaten- und Distanzmatrix für die Clusteranalyse

faßt.¹⁾ Daraus geht hervor, daß für die Clusterung Maße zur Wahl stehen, welche die Ähnlichkeit zwischen zwei Objekten ausdrücken oder Distanzmaße, welche die Unähnlichkeit zwischen zwei Objekten messen. Dies gilt sowohl für nominale als auch für metrische Ausprägungen.

Wird zunächst die Gruppe der Binärvariablen mit den zwei Ausprägungsmöglichkeiten '0' für 'Eigenschaft nicht vorhanden' und '1' für 'Eigenschaft vorhanden' betrachtet, lassen sich die Möglichkeiten der Merkmalskombinationen zweier Objekte P und Q in einer Vierfeldertafel darstellen.

	1	0	
1	a	b	a+b
0	c	e	c+e
	a+c	b+e	m

Tab.2: Vierfeldertafel

In dieser Tabelle steht a beispielsweise für die Anzahl der Merkmale, deren Eigenschaften bei beiden betrachteten Objekten vorhanden ist.

Für die Ermittlung der Ähnlichkeit ist eine Vielzahl von Ähnlichkeitsmaßen vorgeschlagen worden, die sich größtenteils in die folgende Ähnlichkeitsfunktion einpassen lassen:²⁾

$$(3.12) \quad S_{ij} = \frac{a + \delta e}{a + \delta e + \lambda (c+b)}$$

mit: S_{ij} = Ähnlichkeit von Objekten i und j
 δ, λ = Gewichtungsfaktoren; $\lambda > 0$ und $0 \leq \delta \leq 1$

1) Vgl. Vogel, F, a.a.O., S.79

2) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.54

Eine Auswahl der gebräuchlichsten Funktionen für binäre Variable zeigt Tab.3.

Nr.	Ähnlichkeitsfunktion s	Distanzfunktion $d = 1 - s$	δ	λ	Bemerkungen/ Eigenschaften	Name/ Autoren
1	$\frac{a}{a + b + c}$	$\frac{b + c}{a + b + c}$	0	1	Relativer Anteil gemeinsam vorhandener Eigenschaften bezogen auf die Variablen mit mindestens einer 1	Jaccard/ Similarity S/ Tanimoto
2	$\frac{2a}{2a + (b + c)}$	-	0	1/2	Doppelte Gewichtung gemeinsam vorhandener Eigenschaften	Dice
3	$\frac{a}{a + 2(b + c)}$	$\frac{2(b + c)}{a + 2(b + c)}$	0	2	Doppelte Gewichtung nicht übereinstimmender Positionen im Nenner	Sokal & Sneath
4	$\frac{a}{m}$	-	-	-	Relativer Anteil gemeinsam vorhandener Positionen bezogen auf Gesamtlänge	Russel & Rao
5	$\frac{a + e}{m}$	$\frac{b + c}{m}$	1	1	Relativer Anteil übereinstimmender Positionen bezogen auf Gesamtlänge	Simple- Matching
6	$\frac{2(a + e)}{2(a + e) + b + c}$	-	1	1/2	Doppelte Gewichtung übereinstimmender Positionen	Sokal & Sneath
7	$\frac{a + e}{a + e + 2(b + c)}$	$\frac{2(b + c)}{a + e + 2(b + c)}$	1	2	Doppelte Gewichtung nicht übereinstimmender Positionen im Nenner	Rogers & Tanimoto
8	$\frac{ae - bc}{\sqrt{(a + c)(b + e)(a + b)(c + e)}}$	-	-	-	Korrelationskoeffizient φ ($-1 \leq \varphi \leq 1$), Testgröße zum χ^2 -Test auf Unabhängigkeit der 2 x 2-Kontingenztafel	φ -Koeffizient

Tab.3: Wichtige Ähnlichkeits- und Distanzfunktionen für binäre Variable
Quelle: Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.55

Diese Funktionen, gebildet aus den Größen a , b , c , e und m , unterscheiden sich dahingehend, ob und wie sie Übereinstimmungen in gemeinsam vorhandenen Eigenschaften (a), die Nichtübereinstimmung (b) und (c) und die Übereinstimmung in gemeinsam fehlenden Eigenschaften (e) berücksichtigen und gewichten. Eine grundsätzliche Aussage bezüglich der generellen Vorziesenswürdigkeit eines bestimmten Maßes läßt sich nicht treffen.¹⁾

1) Vgl. Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; B.Erichson, R.Weiber, a.a.O., S.119

Daher muß jeweils aus dem konkreten Untersuchungszusammenhang heraus ein geeigneter Koeffizient gewählt werden. Neben dem Skalenniveau der Merkmale spielt bei der Auswahl des Proximitätsmaßes auch die Frage eine Rolle, ob nur das gemeinsame Vorhandensein oder auch das gemeinsam Nichtvorhandensein einer Eigenschaft Bedeutung für die Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit der Untersuchungsobjekte hat.

Ein in Untersuchungen häufig verwendetes Maß für die Ähnlichkeit von Objekten ist der von Sokal/Michener entwickelte Simple-Matching-Koeffizient in der Form:

$$(3.13) \quad S_{(P,Q)} = \frac{a + e}{m}$$

mit den Gewichtungen $\delta = 1$ und $\lambda = 1$, d.h. beide Ausprägungen werden gleichgewichtet. Das entsprechende Distanzmaß läßt sich einfach nach der Formel: Distanz = $1 - \text{Ähnlichkeit}$ errechnen. Es ergibt sich dann für das Distanzmaß:

$$(3.14) \quad D_{(P,Q)} = 1 - S_{(P,Q)} = \frac{b + c}{m}$$

Einige mathematischen Rechenoperationen zeigen, daß dieses Maß unter der Annahme unkorrelierter Klassifikationsmerkmale wie eine euklidische Distanz interpretierbar ist.¹⁾

Geht man davon aus, daß die m_b binären Merkmale einen m_b dimensionalen Raum aufspannen, so können die Objekte 2^{m_b} Eckpunkte eines m_b -dimensionierten Würfels mit der Kantenlänge 1 besetzen. Als Abstand interpretiert, können daraus zwischen den Eckpunkten des m -dimensionalen Raumes (euklidische) Abstände berechnet werden. Für die Objekte P und Q gilt als Abstand:

$$(3.15) \quad d^2(P,Q) = \sum_{i=1}^m (x_{ip} - x_{iq})^2 = \sum_{i=1}^m x_{ip} - x_{iq}^2$$

Bei binären Merkmalen wird die Unähnlichkeit gemessen durch:

$$(3.16) \quad d^2(P,Q) = b + c = m - (a + e)$$

1) Vgl. zum folgenden: Vogel, F., a.a.O., S.104ff.

Wird $b + c$ um m/m erweitert, erhält man

$$(3.17) \quad d^2(P, Q) = m \left(\frac{b + c}{m} \right) = m \cdot D(P, Q)_{SM}$$

und

$$(3.18) \quad D_{(P, Q)_{SM}} = \frac{b + c}{m} = \frac{d^2(P, Q)}{m}$$

Die quasi metrische Eigenschaft dieses Koeffizienten ist insbesondere für die hierarchischen Klassifikationsverfahren, auf die im folgenden Kapitel besonders eingegangen wird, nicht zuletzt deswegen von Bedeutung, weil sie die Bedingungen der Transitivität erfüllt.

Weitere Vorteile dieses Koeffizienten liegen auch darin begründet, daß er

- anschaulich und leicht interpretierbar ist,
- negative genau wie positive Übereinstimmungen berücksichtigt und damit keine Informationen verschenkt, die zur Separation der Klassen beitragen können,
- keine willkürlichen Gewichtungen der Größen a , b , c , e vornimmt,
- im Nenner für alle zu vergleichenden Objektpaare den gleichen Wert hat,
- nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann, wobei 0 Identität und 1 vollkommene Unähnlichkeit der Objekte anzeigt.¹⁾

Wird bei gemischt-skalierten Daten der Niveau-Regression Vorzug gegeben, kann sich nachteilig auf die Analyse auswirken, daß die Aufspaltung der nominal skalierten Merkmale in binäre Variable mit unterschiedlicher Kategorienzahl ungewollte Gewichtungen hervorrufen kann. Daher kann es notwendig werden, den sich aufgrund der unterschiedlichen Variablen Gewichte möglicherweise ergebenden Verzerrungen durch eine weitere Gewichtung von außen entgegenzuwirken. Eine Möglichkeit zur Festlegung dieser Gewichte besteht in

1) Vogel, F., a.a.O., S.102

der Ermittlung des relativen Anteils der Kategorien eines Merkmals an der Gesamtzahl aller Merkmale.

Für den metrisch-skalierten Teil des Merkmalssets wird mit der quadrierten Euklidischen Distanz ein Maß vorgeschlagen, welches der für binär ausgeprägte Merkmale vorgeschlagene Distanzfunktion konzeptionell sehr ähnlich ist. Allgemein hat dieses Maß folgendes Aussehen:

$$(3.19) \quad d_{P,Q}^2 = \sum_{i=1}^m (x_{iP} - x_{iQ})^2$$

Die quadrierte Euklidische Distanz wird empfohlen, weil sie

- leicht zu berechnen ist,
- dem räumlichen Anschauungsvermögen des Menschen sehr nahe kommt,¹⁾
- durch die Quadrierung die Randlage eines Ausreißers besonders hervorhebt,²⁾
- nicht wie Ähnlichkeitsmaße den Gleichlauf aller Variablenausprägungen berücksichtigt, sondern den Abstand von Objekten mißt.

Nicht der gleichartige Profilverlauf von Objekten über ihre Eigenschaftsausprägungen, sondern der Niveauabstand der Merkmalsausprägungen ist für die Ähnlichkeit der FE-Abteilungen von Bedeutung.

Es sollen solche FE-Abteilungen getrennt werden, die sich beispielsweise bezüglich der FE-Intensität oder der Altersstruktur des FE-Personals unterscheiden. Dafür muß aber der absolute Abstand der Objekte hinsichtlich der Variablenausprägungen erfaßt werden. Angewendet werden darf die Euklidische Distanz aber nur bei ausschließlich auf metrischem Niveau erhobenen Daten. Weiterhin müssen die Variablen unkorreliert und vergleichbar sein. Untersuchungsmethoden zum Ausschluß korrelierter Merkmale wurden oben schon vorgestellt.³⁾ Die Vergleichbarkeit der Merkmale kann über geeignete Maßnahmen zur Standardisierung erreicht werden.

1) Vgl. Vogel, F. a.a.O., S.84

2) Vgl. Bergs, Siegfried, a.a.O., S.64

3) s.Kap. 3 2 2.2 1 2

3 2 2.2 2 3 Auswahl eines geeigneten Klassifizierungs- algorithmus

Während das Skalenniveau eindeutig die Auswahl des Ähnlichkeitsmaßes beeinflusst, bedingen sich, wie oben schon angedeutet, 'Ähnlichkeitsmaß' und Klassifizierungsalgorithmus zumindest zum Teil gegenseitig. Daher muß eine Entscheidung über die Auswahl beider simultan erfolgen.

Grundsätzlich zur Auswahl stehen eine Fülle verschiedener Clusteranalysealgorithmen, deren Systematisierung unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen kann.

Monothetische und polythetische Verfahren lassen sich nach der Zahl der bei jeder Zuordnung berücksichtigten Variablen unterscheiden. Monothetische Verfahren berücksichtigen bei der Trennung von je zwei Gruppen jeweils nur eine Variable, während polythetische Verfahren alle Variablen simultan verwenden.¹⁾ Einer weiteren Betrachtung werden im folgenden nur polythetische Verfahren unterzogen, da zum einen keine gesicherten Kenntnisse über Variable vorliegen, die am ehesten für eine Trennung geeignet sind und zum anderen gerade alle Merkmale in ihrer simultanten Wirkung in die Analyse einbezogen werden sollen.

Desweiteren lassen sich die Algorithmen entsprechend der Vorgehensweise im Fusionierungsprozeß unterscheiden. In diesem Sinne werden die beiden Hauptgruppen der hierarchischen und der partitionierenden Verfahren unterschieden.

Hierarchische Verfahren konstruieren Folgen von Partitionen der untersuchten Objektmenge über wiederholte Zusammenfassungen bzw. Aufspaltungen schon bestehender Cluster.²⁾ Je nachdem, ob die Anforderungen an die Homogenität der Klassen schrittweise erhöht oder verringert wird, unterscheidet

1) Vgl. Berge, Siegfried, a.a.O., S.22; Schuchard-Fischer, C., K.Backhaus; W.Plinke; B.Erichson; R.Weiber, a.a.O., S.130. Beispiel für ein monothesisches Verfahren ist die AID-Methode (Automatic Interaction Detection), bei der für jede Unterteilung das dafür geeignetste Merkmal verwendet wird; s.zu weiteren Erläuterungen des Verfahrens auch: Hüttner, Manfred: Informationen für Marketing-Entscheidungen, München 1979, S.319ff.

2) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.73

man divisive und agglomerative Verfahren. Bei divisiven Verfahren werden im Ausgangspunkt alle Objekte als Cluster angesehen, welches im folgenden schrittweise aufgeteilt wird, während bei hierarchischen Verfahren zunächst jedes Element für sich eine Gruppe bildet. Mit fortschreitendem Clusterungsprozeß werden die Elemente dann sukzessive zu Gruppen zusammengefaßt.¹⁾ Gegenüber dem partitionierenden haben die hierarchischen Verfahren mehrere Vorteile:

- Die Klassenzahl muß nicht vorgegeben werden.
- Die Vorgabe einer Partitionsschranke, wie sie bei einigen Partitionsverfahren notwendig ist, entfällt.
- Das Klassifikationsergebnis, also die Anordnung der Cluster auf den unterschiedlichen Distanz- oder Ähnlichkeitsebenen, kann durch ein Dendrogramm graphisch dargestellt werden.

Das Konstruktionsprinzip eines Dendrogramms, welches dem eines Stammbaums ähnelt, zeigt Abb. 21. Agglomerative Verfahren konstruieren diesen Baum von unten nach oben, divisive Verfahren von oben nach unten.

Obwohl sich die partitionierten Verfahren gegenüber den hierarchischen Verfahren durch größere Variabilität auszeichnen²⁾ - iterativ können Elemente zwischen den Clustern verschoben werden - muß letzteren wegen oben genannten Vorteilen Vorzug eingeräumt werden. Im Rahmen der hierarchischen Verfahren verbleibt die Wahl zwischen divisiven und agglomerativen Verfahren. Häufigste Verwendung haben von diesen die agglomerativen Verfahren erfahren, "da die Mehrzahl der divisiven Verfahren monothetisch arbeitet, und der Aufwand für polythetische divisive Verfahren

1) Vgl. Kaufmann, Heinz und Heinz Pape, a.a.O., S.388

2) Vgl. Weiber, Rolf: Dienstleistungen als Wettbewerbsinstrument im internationalen Anlagegeschäft, Diss.Mainz 1985, S.108

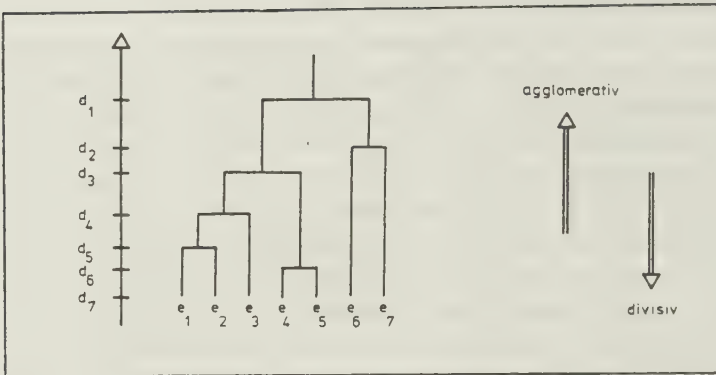


Abb.21: Konstruktionsprinzip eines Dendrogrammes bei hierarchischem Verfahren

Quelle: Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.74

erheblich größer ist als für agglomerative Verfahren."¹⁾

Grundlegende Schritte für die relevanten und gebräuchlichsten agglomerativen Verfahren sind:²⁾

- Beginn mit der feinsten Partition $G := (g_1, \dots, g_n)$, wobei $g_i = (e_i)$, d.h. zunächst bildet jedes Objekt e_i seine eigene Gruppe g_i .
- Suche der Gruppen, deren Distanz unter allen Gruppen minimal ist. Sind dies die Gruppen g_p und g_q , wird $d_{pq} = \min_{i \neq j} d_{ij}$ verlangt. Es wird also die geringste Distanz aus allen möglichen Distanzen von Objektpaaren (d_{ij}) gesucht.

1) Vgl. Bergs, Siegfried, a.a.L., S.25; ähnlich auch: Späth, Helmut, a.a.O., S.189

2) Vgl. zum Vorgehen: Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, S.75; Bock, Hans Herrmann, a.a.O., S.384f.

- Fusion der Gruppen g_p und g_q zur neuen Gruppe g_q^{neu} , mit $g_q^{neu} = g_p \cup g_q$. Durch die Vereinigung der beiden Gruppen vermindert sich die Gruppenzahl um eins.
- Erneute Abstandsberechnung der neuen Gruppen g_q^{neu} mit allen übrigen Gruppen und Eintragung der Werte in die q -te Zeile und Spalte der Distanzmatrix. Gleichzeitig Löschung der p -ten Zeile und Spalte
- Wiederholung der Prozedur bis nach $n-1$ Schritten alle Gruppen in einer einzigen Gruppe vereint sind.

Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Festlegung der Distanz der neu gebildeten Gruppe zu den übrigen Gruppen. Die Neuberechnung der Distanzen d_{qi}^{neu} zu der neuen Gruppe g_q^{neu} erfolgt nach der allgemeinen Formel:

$$(3.20) \quad d_{qi}^{neu} = \alpha_p d_{pi} + \alpha_q d_{qi} + \beta d_{pq} + \gamma d_{pi} - d_{qi}$$

wobei sich die einzelnen Verfahren durch verschiedene Werte der Parameter α_p , α_q , β , γ unterscheiden.

Die hierarchisch agglomerativen Verfahren lassen sich gemäß ihrer Fusionierungseigenschaften in kontrahierende, dilatierende und konservative Verfahren einteilen.¹⁾ Kontrahierende Algorithmen neigen dazu, zunächst wenige große Gruppen zu bilden, denen viele kleine gegenüberstehen, während dilatierende Verfahren die Objekte zu sehr in einzelne und sehr kleine Gruppen zusammenfassen. Konservative Verfahren weisen weder eine Tendenz zur Kontraktion noch zur Streckung des Gruppierungsraumes auf.

Andere Kriterien zur Beurteilung und Auswahl des geeigneten Verfahrens sind eine eventuell vorhandene Neigung zur Kettenbildung und mögliche Inversionseigenschaften, die dann auftreten, wenn mit zunehmender Fusionierung das verwendete Distanzmaß nicht nur steigen sondern auch absinken kann. Das Verfahren wird in einem solchen Fall als nicht-monoton bezeichnet. Inversionen führen zu nur schwer interpretier-

1) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.75

baren Dendrogrammen.¹⁾ Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der relevanten hierarchisch-agglomerativen Clusteranalysen mitsamt ihrer Eigenschaften und den ihnen spezifischen Parameterwerten.²⁾

Die Auswahl des auf unsere Aufgabenstellung anzuwendenden Verfahrens hat vor dem Hintergrund der in dieser Tabelle dargestellten charakteristischen Eigenschaften zu erfolgen, wobei für eine konkrete Anwendung jedoch neben der Qualität der Clusterungsergebnisse stets auch Überlegungen zur Praktikabilität eines Verfahrens angestellt werden müssen.³⁾

Verfahren	Parameter				Distanz d_{qi}^{neu}	Eigenschaften/Bemerkungen ($n := n_p + n_q$)
	α_p	α_q	β	γ		
1 Single Linkage (Nearest Neighbor)	1/2	1/2	0	-1/2	$\min(d_{pi}, d_{qi})$	kontrahierend, monoton, invariant unter monotonen Transformationen der Distanzmatrix, Kettenbildung
2 Complete Linkage (Furthest Neighbor)	1/2	1/2	0	1/2	$\max(d_{pi}, d_{qi})$	dilatierend, monoton, invariant unter monotonen Transformationen der Distanzmatrix, neigt zu kleinen Gruppen
3 Average Linkage	1/2	1/2	0	0	$\frac{1}{2}(d_{pi} + d_{qi})$	konservativ, monoton
4 Average Linkage (weighted)	$\frac{n_p}{n}$	$\frac{n_q}{n}$	0	0	$\frac{1}{n}(n_p d_{pi} + n_q d_{qi})$	konservativ, monoton, ge- wichtet mit der Elementzahl
5 Median	1/2	1/2	-1/4	0	$\frac{1}{2}(d_{pi} + d_{qi}) - \frac{1}{4}d_{pq}$	konservativ, nicht monoton (Inversionen), nur für quadratierte euklidische Distanzen
6 Centroid	$\frac{n_p}{n}$	$\frac{n_q}{n}$	$-\frac{n_p n_q}{n^2}$	0	$\frac{1}{n}(n_p d_{pi} + n_q d_{qi}) - \frac{n_p n_q}{n^2} d_{pq}$	konservativ, nicht monoton (Inversionen), nur für quadratierte euklidische Distanzen
7 Ward	$\frac{n_p + n_i}{n + n_i}$	$\frac{n_q + n_i}{n + n_i}$	$-\frac{n_i}{n + n_i}$	0	$\frac{1}{n + n_i}((n_i + n_p)d_{pi} +$ $+ (n_i + n_q)d_{qi} - n_i d_{pq})$	konservativ, monoton, Minimierung des Varianz- kriteriums bei quadrierten euklidischen Distanzen
8 Flexible Strategie	α	α	$1 - 2\alpha$	0	$\alpha(d_{pi} + d_{qi}) + (1 - 2\alpha)d_{pq}$	$\alpha = 0$ kontrahierend, $\alpha = 1/2$ konservativ $\alpha > 1/2$ dilatierend Günstig: $0.6 \leq \alpha < 0.7$

Tab.4: Wichtige agglomerative Verfahren
Quelle: Steinhausen, Detlef und Klaus Langer,
a.a.O., S.77

- 1) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.76
- 2) Für ähnliche Übersichten s. Bergs, Siegfried, a.a.O., S.76; Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; W.Plinke; B. Erichson; R.Weiber, a.a.O., S.109; Wishard, David: Clustan Benutzerhandbuch, 3.Ausgabe, Stuttgart - New York, S.34; Kaufmann, Heinz und Heinz Pape, a.a.O., S.394
- 3) Vgl. Rand, William M.: Objective Criteria for the Evaluation of Clustering Methods, in: Journal of the American Statistical Association, Vol.66, 1971, S.846

Bergs hat in einer Untersuchung über neun verschiedene Datensätze nachgewiesen, daß bei Überprüfung der wichtigsten Algorithmen das Ward-Verfahren die höchste Prozentzahl richtig zu ihren Gruppen zugeordneter Elemente erbrachte.¹⁾

Auch an anderen Stellen wird dieses Verfahren als das beste aller hierarchischer Verfahren angesehen.²⁾

Das Ward-Verfahren unterscheidet sich von den übrigen wichtigen agglomerativen Verfahren dadurch, daß nicht die jeweils ähnlichsten Gruppen über die geringste Distanz gefunden werden. Vielmehr werden möglichst homogene Gruppen dadurch zu konstruieren versucht, daß sukzessiv solche Objekte fusioniert werden, die den geringsten Zuwachs zu einem Heterogenitätsmaß liefern. Als ein solches Maß wird das Varianzkriterium bzw. die Summe der Fehlerquadrate verwendet.³⁾

Das Verfahren von Ward kann als konservativ und monoton charakterisiert werden, wobei aber das Varianzkriterium nur Anwendung finden sollte, wenn die Werte der Distanzmatrix auf Euklid'schen Distanzen beruhen.⁴⁾

Es darf aber nicht übersehen werden, daß den agglomerativen Verfahren anfänglich kein exakt definierter Gruppenbegriff zugrunde liegt. Daher lassen sich trotz aller Gütetests nur qualitative Hinweise für die Auswahl der besten Algorithmen geben.⁵⁾ Späth empfiehlt daher, auf vorgegebene Daten- oder Distanzmatrizen verschiedene Verfahren anzuwenden, um dann im nachhinein die für die Interpretation geeignetsten Ergebnisse auszuwählen.⁶⁾

Der Anwender der Cluster-Analyse hat nach diesen Auswahl-schritten noch festzulegen, welche Clusterzahl als optimal anzusehen ist. Da die Klassenaufteilung im Rahmen des un-

1) Vgl. Bergs, Siegfried, a.a.O., S.95

2) Vgl. Wishard, David, a.a.O., S.36 u. Weiber, Rolf, a.a.O., S.109

3) Vgl. Steinhausen, Detlef und Klaus Langer, a.a.O., S.80

4) Vgl. Bergs, Siegfried, a.a.O., S.28f.

5) Vgl. Bock, Hans Herrmann, a.a.O., S.386

6) Vgl. Späth, Helmut, a.a.O., S.189

überwacht lernenden Systems nicht vorgegeben ist, die wahre Struktur der Grundgesamtheit a-priori also nicht bekannt ist, müssen Anhaltspunkte dafür gewonnen werden, bei welcher Clusterzahl die Homogenität innerhalb der erzeugten Partitionenhierarchie optimal ist. Als heuristisches Verfahren dafür kann das 'Elbow-Kriterium' herangezogen werden. Dabei wird die Entwicklung des Heterogenitätsmaßes bei zunehmender Fusionierung der Objekte gegen die entsprechende Clusterzahl in einem Koordinatensystem abgetragen. Dort, wo ein Knick im Kurvenverlauf auftritt, wird die richtige Gruppenzahl vermutet.¹⁾ In Abbildung 22 würde dementsprechend die richtige Klassenzahl bei 2 vermutet.

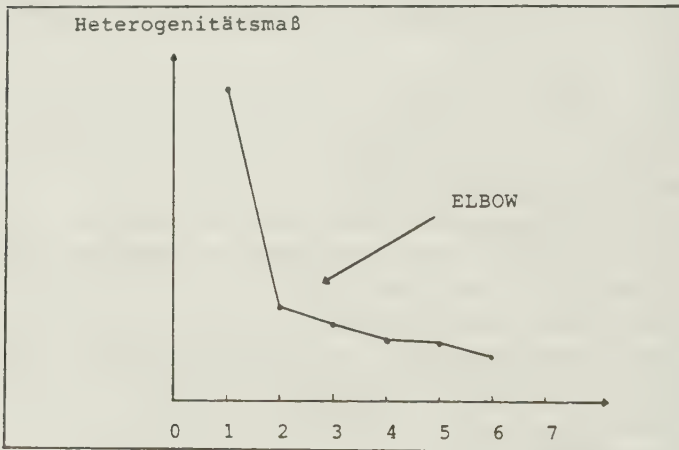


Abb.22: Elbow-Kriterium

Trotz der Anhaltspunkte, die diese Kriterien liefern, bleibt aber die Festsetzung der Clusterzahl letztendlich

1) Vgl. Bergs, Siegfried, a.a.O., S.92f.

2) S. zu diesen Stop-Regeln: Wishard, David, a.a.O., Ergänzung zur 3. Ausgabe, S.15ff.

immer subjektiv und muß im Hinblick auf den konkreten Anwendungsbezug erfolgen. Hilfestellung dazu gibt auch das nach dem Fusionierungsprozeß erstellbare Dendrogramm. Es zeigt die Entwicklung des Heterogenitätskriteriums bei zunehmender Fusionierung.

Will man zunächst vermeiden, daß die unterschiedlichen Distanzfunktionen für binäre und metrische Merkmale in einer Distanz zusammengefaßt werden, bietet sich die Möglichkeit einer zweiseitigen Clusteranalyse an.¹⁾ In deren Rahmen werden über die gleichen Objekte zwei getrennte Analysen einmal mit den binären und andermal mit den metrisch-ausgeprägten Variablen durchgeführt. Die auf diesem Wege ermittelten Gruppierungsergebnisse lassen sich im nachhinein wieder vereinen. Dazu wird ein wie in Abbildung 23 gezeigtes Tableau erstellt, bei dem die Kopfzeile und -spalte jeweils die Ergebnisse der getrennten Clusteranalysen enthalten. Verglichen werden anschließend die Übereinstimmungen in jedem Feld der Tafel und die neuen Gruppen anhand der so zusammengefaßten Objekte definiert.

metrische Merkmale binäre Merkmale	Cluster 1 _{me.} a,b,c	Cluster 2 _{me.} g,d,e
Cluster 1 _{bi.} a,b	a,b 1 _{neu}	
Cluster 2 _{bi.} e,g,d,c	c 2 _{neu}	e,g,d 3 _{neu}

Abb.23: Ergebnistableau der zweiseitigen Clusteranalyse

1) Vgl. Weiber, Rolf, a.a.O., S.106

Ein solches Vorgehen bietet sich auch zur Überprüfung der Stabilität vorhergehender Clusteranalysen an. Hat man bei der Rechnung mit gemischt-skalierten Daten der Niveau-Regression in dem Sinne Vorzug eingeräumt, daß z.B. metrisch ausgeprägte Daten über deren jeweilige Mittelwerte dichotomisiert wurden, so kann dadurch ein Teil der für die Clusterung wichtigen Informationen verloren gehen. Zum Ausdruck kommen kann dies in voneinander differierenden Ergebnissen der Klassifikation mit den Daten auf vereinheitlichtem Skalenniveau und der Klassifikationsergebnisse der zweiseitigen Clusteranalyse. Treten derartige Unterschiede in der Klassifikation auf, kann ein weiteres modifiziertes Vorgehen gewählt werden, welches im folgenden kurz dargestellt werden soll.¹⁾

Ausgehend von dem originären Ziel der Datenanalyse, die im allgemeinen gemischt skalierten Merkmale in der Form zu aggregieren oder transformieren, daß die Ähnlichkeiten der betrachteten Objekte in sinnvoller Weise zum Ausdruck kommen, wurde ein Verfahren entwickelt, welches in einer entsprechenden Analyse verschiedene Merkmalstypen simultan berücksichtigt.

In dem vom Institut für Statistik und Mathematische Wirtschaftstheorie der Universität Augsburg erstellten Programmsystem IDEN sind verschiedene Prozeduren zur Berechnung, Aggregation und clusteranalytischen Verarbeitung von Distanzmatrizen verschieden-skaliertter Merkmale vorgesehen.

Erste Stufe des Vorgehens im Rahmen von IDEN ist die Berechnung merkmalsweiser Distanzen. Dazu müssen die Merkmale je nach Informationsniveau mit einer problemadäquaten Struktur versehen werden, die jeweils einen nichtnegativen, reellen Distanzindex auf der Objektmenge induziert, der in-

1) Vgl. zum folgenden: Hansohm, J., H. Ott, N. Turulski: Integriertes Datenanalyse-Programmsystem für Empirische Sozialforschung und Numerische Taxonomie, Arbeitspapiere zur Mathematischen Wirtschaftsforschung, Heft 55, Augsburg 1982; Hansohm, J. und O. Opitz: Identification with Qualitative Data, o.O. 1981, S.1-6; Opitz, O. und J. Hansohm: Identifikation mit qualitativen Daten, in: Marketing, 2.Jg., 1980, S.11-21; Opitz, Otto: Numerische Taxonomie, Stuttgart-New York 1980, S.27ff.

variant in Bezug auf streng monoton wachsende Transformationen ist.

In unserem Beispiel liegen nominale bzw. klassifikatorische und quantitative Merkmale vor. Zunächst wird nun für jedes Merkmal unter Ausnutzung seiner Ausprägungsstruktur ein Distanzindex ermittelt und darauf aufbauend werden merkmalsweise Distanzmatrizen errechnet.

Für nominale Merkmale läßt sich ein derartiger Index zweckmäßigerweise durch

$$(3.21) \quad d_k(i,j) = \begin{cases} 0 & \text{für } a_{ik} = a_{jk} \\ 1 & \text{für } a_{ik} \neq a_{jk} \end{cases} \quad i, j \in N$$

beschreiben, wobei k ein Merkmal aus der Gesamtmenge der betrachteten Merkmale M ist und i, j Objekte aus der Gesamtmenge N der betrachteten Objektmenge sind. a_{ik} bezeichnet die Ausprägung des Merkmals k bei Objekt i .

Im Fall eines quantitativen Merkmals lautet der Distanzindex

$$(3.22) \quad d_k(i,j) = \gamma_k |a_{ik} - a_{jk}|^p \quad \text{mit } \gamma_k > 0; \\ p \in N; i, j \in N.$$

Mit $\gamma_k = 1$ werden alle Merkmale gleichgewichtet. Setzt man $\gamma \neq 1$ ist eine merkmalspezifische lineare Gewichtung möglich. Gilt $p = 1$ werden alle Differenzen unterschiedlicher Merkmalsausprägungen gleichgewichtet. Im Rahmen der Prozedur 'Distance' des IDEN-Programms, welche der Berechnung der merkmalsweisen Distanzmatrizen dient, kann auch $p = 2$ gewählt werden. Durch die Quadrierung der Distanzen erhalten dann große Differenzen ein hohes, kleine Differenzen ein niedriges Gewicht. Alle Distanzmatrizen werden wegen ihrer Symmetrieeigenschaft im Rahmen von 'Distance' als untere Dreiecksmatrix erfaßt.

Da für die Klassifikation die Quantifizierung der Verschiedenheit der Objekte über alle Merkmale notwendig ist, müssen die einzelnen merkmalsweisen Distanzindizes zu einem Distanzindex d , der alle Merkmale und ihre Ausprägungsstrukturen berücksichtigt, aggregiert werden.

Die Prozedur 'Aggregate' aus dem IDEN-Programm erlaubt eine linear homogene Aggregation der Distanzen über

$$(3.23) \quad d(i,j) = \sum_{k=1}^m \alpha_k d_k(i,j) \quad \text{mit } i,j \in N$$

Die Gewichtungsfaktoren α_k sind dabei frei wählbar, wobei häufig die Bedingung $\sum \alpha_k = 1$ aufgestellt wird.

Kritisch anzumerken bleibt bei dieser Art der Aggregation, daß für alle merkmalspezifischen Distanzindizes die Monotoniebedingung

$$(3.24) \quad d_k(i,j) < d_k(i',j') \Leftrightarrow \begin{cases} (i',j') \text{ verschiedener als } (i,j) \\ (i,j) \text{ ähnlicher als } (i',j') \end{cases}$$

$$\text{mit } i,j,i',j' \in N$$

erfüllt sein muß, d.h. ein Distanzindex muß umso kleiner sein, je ähnlicher zwei Objekte sind. Dies ist bei klassifikatorischen und quantitativen Merkmalen der Fall, bei qualitativen Merkmalen ist diese Annahme aber nicht immer gerechtfertigt. Trotzdem erlaubt 'Aggregate' nur die o.g. Aggregation.

Um die bei gemischten Variablen vorliegenden unterschiedlichen Distanzindizes vergleichbar zu machen, erlaubt die Prozedur 'Distance' verschiedene Möglichkeiten der Normierung, so daß (3.23) beispielsweise zu

$$(3.25) \quad d_{i,j} = \sum_{k=1}^m \alpha_k \frac{d_k(i,j)}{\max_{(i,j)} d_k(i,j)}$$

modifiziert werden kann. Damit werden die unterschiedlichen Schwankungsbreiten in den merkmalspezifischen Distanzmatrizen ausgeglichen.

Die über die Aggregation entstandene Distanzmatrix wird abgespeichert und kann direkt als Eingabedatei für die unter der Prozedur 'Cluster' abrufbaren Klassifikationsverfahren, die weitgehend mit den im Programmpaket CLUSTAN vorgesehenen Optionen übereinstimmen, abgerufen werden. Die weiteren Analyseschritte unterscheiden sich folglich nicht von denen der Clusteranalyse mit Hilfe des Programmpaketes CLUSTAN.

Steht eine entsprechende elektronische Datenverarbeitungsanlage zur Verfügung, können mit Hilfe des CLUSTAN-Programms Klassifikationen innerhalb kurzer Zeit durchgeführt werden. Für eine weitere Überprüfung der Stabilität der Klassifikation erlaubt dieses Programm auch eine Vergleichsanalyse mit vom Ward-Verfahren abweichenden Algorithmen.

Eine wirklich robuste Klassifikation zeigt Übereinstimmung der Ergebnisse.¹⁾ Die gleiche Überprüfung der Stabilität der Ergebnisse wird in CLUSTAN auch durch einen Relocate-Lauf ermöglicht, bei dem die Objekte im Rahmen einer iterativen Prozedur gemäß einem Austauschalgorithmus solange umgruppiert werden, bis ein lokales Optimum gefunden zu sein scheint.²⁾

Das Programm bietet gleichzeitig auch Routinen für die formale Analyse der Gruppierungsergebnisse, wobei Hauptaugenmerk auf der Homogenität der gefundenen Objekte und dem Einfluß einzelner Variablenausprägungen liegt.³⁾

Es sind $X(J)$ = Gesamtmittelwert der kontinuierlichen Variablen J ,

$S(J)$ = Gesamtstandardabweichung der kontinuierlichen Variablen J ,

$V(J)$ = Gesamtvarianz der kontinuierlichen Variablen J ,

$P(J)$ = Prozentuale Gesamthäufigkeit des binären Merkmals J

Bezogen auf ein bestimmtes Cluster C werden diese statistischen Größen mit $X(C,J)$, $S(C,J)$, $V(C,J)$ und $P(C,J)$ bezeichnet.

Mögliche clusterdiagnostische Statistiken sind nun:

$$a) \quad F\text{-Wert} = \frac{V(C,J)}{V(J)}$$

$$b) \quad T\text{-Wert} = \frac{X(C,J) - X(J)}{S(J)}$$

1) Vgl. Wishard, David, a.a.O., S.9;

2) Vgl. ebenda, S.46;

3) Vgl. zum folgenden ebenda, S.84f.

$$\text{c) Relative Häufigkeit} = \frac{P(C,J)}{P(J)}$$

ad a) Je kleiner ein F-Wert, desto geringer ist die Streuung innerhalb eines Clusters im Vergleich zur gesamten Objektmenge. Kleine F-Werte deuten daher auf große Homogenität der Klassenmitglieder. Im allgemeinen werden die Variablen in den Gruppen in aufsteigender Reihenfolge der F-Werte geordnet, wobei der F-Wert nicht über 1 liegen sollte, da in diesem Fall die Streuung innerhalb der Gruppe größer ist als in der Gesamtmenge.

ad b) T-Werte sind über die Gesamtstandardabweichung normierte Werte, die Abweichungen der Clustermittelwerte von den Mittelwerten dieser Variablen aus der Gesamtpopulation aufzeigen. Sie können zur Charakterisierung der jeweiligen Cluster herangezogen werden, da negative (positive) T-Werte anzeigen, daß die untersuchte Variable im betrachteten Cluster im Vergleich zur Gesamtmenge unter-(über)repräsentiert ist.

ad c) Im Fall binärer Merkmale kann die relative Häufigkeit von Merkmalen zur Beschreibung der Klassen herangezogen werden. Weist die relative Häufigkeit einen von eins verschiedenen Wert auf, kommt das entsprechende Merkmal bei relativer Häufigkeit ≥ 1 (≤ 1) im Cluster häufiger (weniger) vor als in der Gesamtmenge. Daraus kann dann geschlossen werden, welches Merkmal charakteristischerweise in einem Cluster vorkommt und welches nicht.

Auch die Diskriminanzanalyse wird als Hilfsmittel zur statistischen Analyse der Clusterlösung genannt. Mit ihrer Hilfe kann die Trennfähigkeit der Merkmale ermittelt werden. Als abhängige Variablen werden die in der Clusteranalyse gefundenen Gruppen vorgegeben, unabhängige Variablen sind die Merkmale mit ihren Ausprägungen, die allerdings metrisches Skalenniveau vorweisen müssen.

Die gefundenen Cluster lassen sich nach Durchführung der clusterdiagnostischen Statistiken in Form von Musterklassen charakterisieren, welche durch die Darstellung typischer Profilverläufe veranschaulicht und entsprechend interpretiert werden können.

Eine andere Darstellungsweise mit dem Vorteil leichter visueller Erfassbarkeit ist die zu einem Kreisdiagramm aufgearbeitete Musterhüllkurve.¹⁾

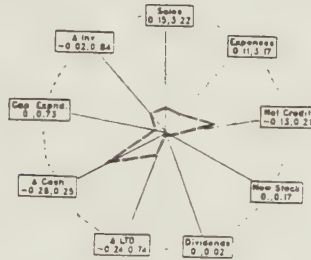


Abb.24. Musterhüllkurve für Unternehmen der Fluglinienbranche

Quelle: Scholz, Christian: Strategische Branchenanalyse durch Mustererkennung, a.a.O., S.126

Sie zeigt als Schwerpunkt des Clusters das Durchschnittsprofil der jeweiligen Profilgruppierung. Die Schwankungsbreite der vorher normierten Variablen im jeweiligen Cluster wird in den Zahlen unter den Variablennamen durch Angabe von Maximum- und Minimumwerten erfaßt. Bei binären Variablen können dort die relativen Häufigkeiten angegeben werden, wobei dichter am Kreiszentrum liegende Punkte größere Häufigkeiten repräsentieren.

1) Vgl. Scholz, Christian: Strategische Branchenanalyse durch Mustererkennung, a.a.O., S.123 und ders.: Pattern Analysis, Regensburger Diskussionsbeiträge zur Wirtschaftswissenschaft No.162, Regensburg 1983, S.30

3 2 3 Filterung erfolgreicher Forschungs- und Entwicklungs-Muster mit Hilfe der Varianzanalyse

3 2 3.1 Ziele der Varianzanalyse

"Die Varianzanalyse ist ein Verfahren, das die Wirkung einer (oder mehrerer) unabhängiger Variablen auf eine (oder mehrere) abhängige Variable(n) untersucht. Für die unabhängige Variable wird dabei lediglich Nominalskalierung verlangt, während die abhängige Variable metrisches Skalenniveau aufweisen muß."¹⁾

Mit ihrer a priori geteilten Datenmenge gehört die Varianzanalyse im Gegensatz zur Clusteranalyse zu den Verfahren der Dependenzanalyse, welche das Vorhandensein bzw. die Stärke einer Beziehung zwischen einer geteilten Variablenmenge feststellen.²⁾ Da bei der Varianzanalyse die Annahme getroffen wird, daß es sich bei den Beobachtungswerten um in der Gesamtpopulation normalverteilte Variablen handelt, kann dieses Verfahren auch als parametrische, inferenzstatistische Methode gekennzeichnet werden. Wird durch diese Annahme die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung zulässig, so läßt sich die Varianzanalyse auch als parametrischer Signifikanztest für den Mittelwertsvergleich einer abhängigen Variablen in verschiedenen Stichproben charakterisieren, wobei sich diese Stichproben "in der systematisch unterschiedlichen Ausprägung wenigstens einer unabhängigen Variablen"³⁾ unterscheiden. Ziel inferenzstatistischer Methoden ist die Generierung und Prüfung von Hypothesen und Theorien, um deren Aussagen näher an Gesetzesartigkeit zu bringen. Eine Aussage erhält Gesetzesartigkeit, wenn sie über den konkreten Untersuchungsbereich hinaus für alle gleichartigen Situationen und Ereignisse gültig ist.⁴⁾ Dabei ergibt sich das jeder empirisch-wissenschaftlichen Methode anhaftende Problem der Induktion,

-
- 1) Schuchard-Ficher, C.; K.Backhaus; U.Hummer; W.Lohrberg; W.Plinke; W.Schreiner, a.a.O., S.11
 - 2) Vgl. Hammann, Peter und Bernd Erichson, a.a.O., S.91
 - 3) Vgl. Glaser, W.H.: Varianzanalyse, Stuttgart - New York 1978, S.17
 - 4) Vgl. ebenda, S.3

des Schlusses von besonderen Sätzen, die z.B. Beobachtungen und Experimente beschreiben, auf allgemeine Sätze wie Hypothesen und Theorien,¹⁾ denen auch Gesetzesartigkeit eigen ist. Dies wird zu erreichen versucht, um mit hinreichend bestätigten Gesetzesaussagen beobachtete Ereignisse nicht nur zu erklären, sondern auch künftige Ereignisse vorauszusagen.

Die inferenzstatistische Auswertung einer Untersuchung begegnet nun dem Induktionsproblem dadurch, daß sie keine Schlüsse strenger Gültigkeit zieht, sie also keine deterministischen und damit theoretisch idealisierte und unendlich genaue Zusammenhänge zwischen bestimmten Variablen unterstellt,²⁾ sondern über Wahrscheinlichkeitsaussagen nur einen begrenzten Grad an Sicherheit vermittelt.³⁾

Ist eine Stichprobe gemäß dem Prinzip der uneingeschränkten Zufallsauswahl erhoben worden, lassen sich aus Messungen und Beobachtungen an ihr Rückschlüsse mit vorgegebener Wahrscheinlichkeit auf die Grundgesamtheit ziehen. Inferenzstatistisch faßt man "eine bestimmte wissenschaftliche Beobachtung oder Messung nicht mehr als Anwendungsfall einer anerkannten oder noch zu findenden Gesetzesaussage auf, sondern als ein Zufallsereignis, als eine Realisation eines zufallsgesteuerten Prozesses oder als Zufallsauswahl eines Elementes aus einer Wahrscheinlichkeitsverteilung."⁴⁾

Damit implizieren diese Methoden keine kausalen Beziehungen, vielmehr können das eventuelle Vorhandensein und die Stärke einer assoziativen Beziehung festgestellt werden. Eine derartige Assoziation von Variablen liegt vor, wenn diese dazu neigen, miteinander zu variieren, so daß bei Kenntnis der Beziehung und einer der Variablen leichter Rückschlüsse auf die anderen Variablen möglich sind.

Signifikante Assoziationen können daher zweierlei Ziele erfüllen: Es können Kausalhypothesen überprüft und abhängi-

1) Vgl. Popper, Karl R.: Logik der Forschung, 6.Aufl., Tübingen 1976, S.3

2) Vgl. Glaser, W.R., a.a.O., S.4

3) Vgl. Popper, Karl R., a.a.O., S.5

4) Glaser, W.R., a.a.O., S.6

ge Variablen aufgrund der Kenntnisse der unabhängigen Variablen prognostiziert werden.¹⁾ Damit entspricht die Inferenzstatistik und in ihrem Rahmen besonders die Varianzanalyse genau den hier aufgestellten Zielen. Zum einen erlaubt das Verfahren die Überprüfung der These eines Zusammenhangs von industrieller FE und Unternehmensziel. Zum andern kann unter der Annahme der Stabilität der Beziehung im Prognosezeitraum von einem spezifischen FE-Muster auf dessen Erfolgsträchtigkeit geschlossen werden.

Wir wollen daher im folgenden die Varianzanalyse auf unsere Problemstellung anwenden, da sie für die Lösung des hier anstehenden Black-box-Problems am ehesten geeignet erscheint. "Eine Black-box liegt vor, wenn Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen eines Systems zwar bekannt sind, nicht jedoch die Art und Weise, wie die Eingangsgrößen zu den Ausgangsgrößen verarbeitet werden, das heißt die Ursache-Wirkungs-Beziehungen."²⁾ Für die statistische Auswertung wissenschaftlicher Untersuchungen mit Hilfe der Varianzanalyse können drei Typen von Variablen unterschieden werden. Unabhängige Variable werden diejenigen genannt, deren Einfluß untersucht werden soll; Abhängige Variable sind solche, auf die sich der Einfluß der unabhängigen bezieht. Störvariablen repräsentieren Einflüsse, die zwar auf die abhängige Variable wirken und damit die Wirkung der unabhängigen Variablen beeinflussen, trotzdem aber nicht Gegenstand der Untersuchung sind.³⁾ Für die konkrete Anwendung sind die jeweiligen Variablen im folgenden zu bestimmen.

1) Vgl. Hammann, Peter und Bernd Erichson, a.a.O., S.91

2) Heno, Rudolf, a.a.O., S.128

3) Vgl. Glaser, W.R., a.a.O., S.11

3 2 3.2 Anwendungsbezogene methodologische Darstellung der Varianzanalyse

3 2 3.2 1 Forschungs- und Entwicklungs-Musterklassen als unabhängige, Rendite als abhängige Variable

Die schon im 2.Kapitel dieser Arbeit besprochenen Ansätze zur Messung der Effizienz bzw. der Produktivität von industrieller FE hatten eine Reihe von Nachteilen, die ihre Aussagekraft erheblich einschränkten.

Die Kritik richtete sich vor allem auf die nur partielle Sichtweise der verschiedenen Ansätze, sowie auf das Fehlen einer validen Definition des FE-Outputs und die unzureichende Erfassung von Zufallseinflüssen.

Die derartigen, eine FE-Effizienzanalyse erschwerenden Faktoren werden nun in der hier dargestellten Methode auf unterschiedliche Weise berücksichtigt.

Dem stochastischen Charakter der FE wird Rechnung getragen, indem probabalistische Aussagen getroffen werden. Weiterhin wird nicht der Einfluß eines einzigen Aktionsparameters des FE-Managements, sondern die Wirkung aller wichtigen Faktoren simultan untersucht. Dazu müssen im Rahmen eines Mustererkennungsprozesses zunächst die typischen Ausprägungen der FE-Abteilungen als Musterklassen charakterisiert werden. Diese dienen im weiteren als Inputgröße der Varianzanalyse, d.h. die aus den Ergebnissen der Clusteranalyse extrahierten Musterklasse bilden die Ausprägungen der unabhängigen Variablen. Abhängige Variable soll nicht eine irgendwie definierte Einheit von Wissen sein, sondern die Rendite des jeweils betrachteten Unternehmens. Eine nur das Wissen messende Größe zur Outputmessung heranzuziehen, würde den Aspekt der wirtschaftlichen Verwertbarkeit von FE-Ergebnissen völlig vernachlässigen. In industriellen Unternehmen ist aber die Produktion von Wissen kein Selbstzweck. Da intermediäre Maße fehlen, wird auf die Rendite als das in einer marktwirtschaftlichen Ordnung anzutreffende globale Effizienzkriterium zurückgegriffen.¹⁾ Die Rendite hat

1) Vgl. Poensgen, Otto H. und Helmut Hort, a.a.O., S.75

daneben den Vorteil, daß sie leicht erfaßbar ist und die Einheitlichkeit des Maßstabes garantiert.

Liegt ein signifikanter Einfluß der unabhängigen Variablen, also einer typischen Ausprägung der FE-Abteilung, auf die Rendite vor, müssen die Mittelwerte der einzelnen Gruppen bzw. Musterklassen voneinander abweichen, wobei diese Abweichung nicht allein auf andere Umwelteinflüsse zurückzuführen sein darf. Mit Poensgen und Hort kann aus der Vielzahl möglicher Renditemaße die Rendite des betrieblich eingesetzten Gesamtkapitals als abhängige Variable vorgeschlagen werden. Sie weist den Vorzug auf, daß ihr Wert von der Art der Finanzierung weitgehend frei bleibt und nur das Ergebnis der wirtschaftenden, also produzierenden und absetzenden Einheiten betrachtet wird. Der Zähler dieses Maßes enthält das ordentliche Betriebsergebnis vor Steuern und Zinsen, ohne außerordentliche Erträge oder Aufwendungen und ohne Ergebnisveränderungen aus Beteiligungen, anderen Finanzanlagen, Verlustübernahme, Gewinnabführungsverträgen, Gewinngemeinschaften und ähnlichem. In Nenner steht das aus Bilanzsumme minus ausstehenden Einlagen, Wertberichtigungen und Bilanzverlust ermittelte Gesamtkapital, vermindert um den Anteil, welcher den Finanzanlagen und dem sonstigen nicht betriebsnotwendigen Vermögen zuzurechnen ist.¹⁾

Situative Einflüsse auf die Rendite durch zufällige Ereignisse oder bewußte Manipulationen, wie intertemporale Gewinn- und Verlustverschiebungen, können über eine Durchschnittsbildung, z.B. arithmetisches Mittel der Gesamtkapitalrentabilität der letzten drei Jahre, ausgeräumt oder zumindest abgeschwächt werden.

Einflüsse, die von der Auswahl der in der Stichprobe zu untersuchenden Unternehmen ausgehen können, werden randomisiert, indem eine Zufallsauswahl der zu untersuchenden

1) Vgl. Poensgen, Otto H. und Helmut Hort, a.a.O., S.76

Objekte vorgenommen wird.¹⁾ Damit liegt eine Untersuchungskonstellation vor, die gekennzeichnet ist durch eine unabhängige und eine abhängige Variable. Das auf eine solche Situation anzuwendende Verfahren wird allgemein als einfache oder univariate Varianzanalyse bezeichnet.

3 2 3.2 2 Rechenschritte bei der univariaten Varianzanalyse

Ausgangspunkt der Untersuchung ist die Frage, ob die Gesamtkapitalrentabilität industrieller Unternehmen von der Art und Ausgestaltung der FE-Abteilungen beeinflusst wird. Zur Ermittlung der FE-Abteilungsmusterklassen werden die FE-Abteilungen clusteranalytisch behandelt. In einem weiteren Schritt stellen die Musterklassen die unabhängige Variable der Varianzanalyse dar. Da eine auf die konkrete Problemstellung bezogene Klassifikation realiter noch nicht erfolgt ist, bleibt die Zahl der kategorialen Ausprägungen der nominal skalierten Variablen "FE-Muster" zunächst noch unbekannt. Die Möglichkeit, daß auch mehr als zwei Kategorien aufgefunden werden können und daher auch ein simultaner Vergleich von mehr als zwei Mustern erfolgen muß, bedingt den Einsatz des Instrumentariums der Varianzanalyse. In ihrem Rahmen werden zunächst nach dem Zufallsprinzip FE-betreibende Unternehmen ausgewählt und auf die Kategorien verteilt. Weiterhin werden dazu die zu untersuchenden Unternehmen nach dem Zufallsprinzip jeweils aus den Bedingungsgruppen, also den Kategorien ausgewählt. Dies geschieht deswegen, weil die in der Varianzanalyse zu berechnenden Parameter voraussetzen, daß die den Beobachtungswerten zugrunde liegende Grundgesamtheit normalverteilt ist und gleichzeitig die Variablen in den einzelnen Gruppen zumindest annähernd normalverteilt sind. Die abhängige Variable, in unserem Fall die Gesamtkapitalrentabilität, wird nun für alle Unternehmen in den den Kategorien zugeordneten Stichproben erhoben und verglichen. Unterscheiden sich diese Stichproben hinsichtlich ihrer durchschnittli-

1) Vgl. Glaser, W.R., a.a.O., S.10

chen Gesamtkapitalrentabilitäten signifikant, so kann ein Einfluß der unterschiedlich ausgestalteten FE-Abteilung auf diese Größe vermutet werden. Statistische Beziehungen zwischen der abhängigen und unabhängigen Variablen werden folglich von den Unterschieden zwischen den Mittelwerten der untersuchten Stichprobe erfaßt. Die Form dieser Beziehung bleibt aber zunächst unklar, diagnostiziert wird lediglich deren Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein.¹⁾

Schlüsselprinzip der Varianzanalyse ist die Streuungszerlegung.²⁾ Die Gesamtabweichung eines Beobachtungswertes vom Gesamtmittelwert aller Beobachtungswerte wird in eine erklärte und eine unerklärte Abweichung zerteilt. Die erklärte Abweichung als die Summe der Abweichungsquadrate zwischen den Gruppen, ist auf die Wirkung der unabhängigen Variablen, hier der FE-Ausprägung, zurückzuführen. Mit ihrer Bestimmung wird auch der Nachweis für die Wirksamkeit bzw. Unwirksamkeit der unabhängigen Variablen erbracht. Unerklärte Abweichungen, die durch in der Untersuchung nicht kontrollierbare Umwelteinflüsse auftreten, werden durch die Summe der quadrierten Abweichungen innerhalb der Gruppen berücksichtigt. Trotzdem derartige Umwelteinflüsse auch auf die Abweichungen zwischen den Gruppen wirken können, eine saubere Trennung von erklärter und unerklärter Abweichung folglich häufig mit Schwierigkeiten verbunden ist, wird die Aufspaltung in erklärte und unerklärte Abweichung über die Abweichungsquadrate zwischen und innerhalb der Gruppen als gute Näherungslösung angesehen. Zur rechnerischen Ermittlung der Abweichungen kann von den Größen der Tabelle 5 ausgegangen werden.

1) Vgl. Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker: Forschungsstatistik, 6.Aufl., Bonn 1972, S.238

2) Vgl. zum folgenden Schuchard-Fischer, C.; K.Bakchus; U.Humme, W.Lohrberg; W.Plinke; W.Schreiner, a.a.O., S.13ff.

Anzahl der i Unter- nehmen Gruppen 1...n					Anzahl der Beobachtungen je FE- Musterklasse	ΣGkR_n	ΣGkR_n^2	$\overline{GkR}_n$
FE-Muster- klasse 1	GkR_{1_1}	GkR_{1_2}		GkR_{1_i}	a_1	ΣGkR_1	ΣGkR_1^2	$\overline{GkR}_1$
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
FE-Muster- klasse n	GkR_{n_1}	GkR_{n_2}		GkR_{n_i}	a_n	ΣGkR_n	ΣGkR_n^2	$\overline{GkR}_n$

mit: GkR = Gesamtrentabilität

GkR_{n_i} = Gesamtkapitalrentabilität des i-ten Unternehmens aus der n-ten FE-Musterklasse

$\overline{GkR}_n$ = Mittelwert der GkR der Gruppe n

$\overline{GkR}$ = Gesamtmittelwert der Beobachtungswerte

$a = \Sigma a_n$ = Gesamtzahl der Beobachtungen

n = Anzahl der Ausprägungen der unabhängigen Variablen (Zahl der FE-Muster)

Tab.5: Wertetabelle für die Varianzanalyse

Zu berechnen sind die Summen der quadrierten Abweichungen zwischen ($SAQ_{zwischen}$) und innerhalb ($SAQ_{innerhalb}$) der Gruppen. Beide Größen addiert ergeben die Summe der quadrierten Gesamtabweichungen (SAQ_{gesamt}).

$SAQ_{zwischen}$ wird aus der Summe der aufaddierten Werte der quadrierten Gruppenmittelwertabweichungen vom Gesamtmittelwert errechnet.

$$(3.26) \quad SAQ_{\text{zwischen}} = \sum_n (\overline{GkR}_n - \overline{GkR})^2 \cdot a_n$$

Die quadrierten Abweichungen innerhalb der Gruppen ergeben sich aus der Addition der quadrierten Abweichung von Beobachtungswerten und jeweiligen Gruppenmittelwerten.

$$(3.27) \quad SAQ_{\text{innerhalb}} = \sum_n \sum_i (GkR_{ni} - \overline{GkR}_n)^2$$

Für das Vorgehen bilden diese beiden Werte den Ausgangspunkt, auf dem aufbauend die Testgröße der Varianzanalyse als Verhältnis von erklärter und nicht-erklärter Varianz konstruiert wird, welche schließlich die Grundlage für einen Hypothesentest bildet. Dessen Ergebnis wiederum gibt Auskunft, ob mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Ausprägung der FE-Abteilungen Einfluß auf die Gesamtkapitalrendite von Unternehmen haben. Als Prüfverteilung für den Hypothesentest wird die F-Verteilung verwendet. Dazu ist es notwendig, die Summen der Abweichungsquadrate durch die Zahl der jeweiligen Freiheitsgrade zu dividieren. SAQ_{zwischen} hat $n-1$ und $SAQ_{\text{innerhalb}}$ hat $a-n$ Freiheitsgrade. Daraus ergibt sich für die mittlere quadratische Abweichung (MQ) zwischen den Gruppen:

$$(3.28) \quad MQ_{\text{zwischen}} = \frac{SAQ_{\text{zwischen}}}{n - 1}$$

und innerhalb der Gruppen:

$$(3.29) \quad MQ_{\text{innerhalb}} = \frac{SAQ_{\text{innerhalb}}}{a - n}$$

Beide Größen werden nun ins Verhältnis zueinander gesetzt und der so ermittelte empirische F-Wert gegen den theoretischen F-Wert aus der F-Werte Tabelle getestet.

$$(3.210) \quad \frac{MQ_{\text{(zwischen)}}}{MQ_{\text{(innerhalb)}}} = F_{\text{emp}}$$

"Keine Wirkung der unabhängigen Variablen muß dann vermutet werden, wenn der empirische F-Wert klein ist. Bei einem höheren empirischen F-Wert kann dies auf die unabhängige

Variable zurückzuführen sein, möglicherweise aber auch ein Ausdruck für eine durch Umwelteinflüsse bedingte Abweichung sein. Den Maßstab zur Beantwortung dieser Frage beschreiben die theoretische F-Verteilung und das Signifikanzniveau. Die F-Verteilung ist eine Prüfungsverteilung, an der die empirischen F-Werte gemessen werden. Gesucht wird der Bereich auf der theoretischen F-Verteilung, bestimmt durch Grenzwerte, in dem mit einer definierten Wahrscheinlichkeit der empirische F-Wert erwartet wird, wenn kein Einfluß der unabhängigen Variablen vermutet werden kann."¹⁾

Je größer der empirische F-Wert, desto größer muß auch MQ_{zwischen} im Vergleich zu $MQ_{\text{innerhalb}}$ sein. Da aber MQ_{zwischen} hauptsächlich vom Einfluß der unabhängigen Variablen abhängt, wird auch ein Einfluß der unabhängigen Variablen umso eher anzunehmen sein, je größer MQ_{zwischen} im Vergleich zu $MQ_{\text{innerhalb}}$ ist.

In einem Hypothesentest wird nun der Einfluß der unabhängigen Variablen beurteilt. Unserer Hypothese, daß die FE je nach Ausgestaltungsmuster einen Einfluß auf die Gesamtkapitalrendite eines Unternehmens ausübt, wird die Nullhypothese gegenübergestellt. Sie behauptet in diesem Fall, daß kein Einfluß der FE-Muster auf die Erfolgssituation von Unternehmen vorliegt, die Ausprägungen der unabhängigen Variablen also keine unterschiedliche Wirkung auf die abhängige Variable haben. Unter Festlegung eines Signifikanzniveaus ist die Nullhypothese abzulehnen, wenn der empirische F-Wert größer als der theoretische F-Wert ist. Das Signifikanzniveau repräsentiert eine Restwahrscheinlichkeit, die angibt, in wieviel Prozent der Fälle der empirische F-Wert außerhalb der Grenzwerte der theoretischen F-Verteilung liegt, obwohl in der Realität kein Einfluß der unabhängigen Variablen vorliegt. Die theoretischen F-Werte erhält man, unter Berücksichtigung der Freiheitsgrade getrennt für Zähler und Nenner, aus der F-Wert-Tabelle.²⁾ Ist der richtige theoretische F-Wert aus der Tabelle ent-

1) Schuchard-Ficher, C.; K.Backhaus; U.Humme; W.Lohrberg; W.Plinke; W.Schreiner, a.a.O., S.19
2) s. Anhang I

nommen und übersteigt der empirische Wert diesen, kann ein Wirkungszusammenhang zwischen abhängiger und unabhängiger Variable vermutet werden, allerdings mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit in Höhe des Signifikanzniveaus, welches häufig per Konvention auf 5 oder 1 Prozent festgelegt wird. Kann nun mit Hilfe des F-Tests die Nullhypothese abgelehnt werden, ist ein Einfluß der FE-Muster auf den Unternehmenserfolg zu erwarten. Für die Festlegung, welches Muster nun den stärksten Einfluß auf den Erfolg hat, sind aber weitere Tests notwendig.

3 2 3.2 3 Analyse von Mittelwertsunterschieden nach vollzogener Varianzanalyse

Ist der F-Test signifikant ausgefallen, unterscheiden sich die Mittelwerte der Gesamtkapitalrentabilitäten der den einzelnen FE-Musterklassen zugeteilten Unternehmensstichproben. Es liegt aber noch keine Information vor, welche Gruppenmittelwerte sich unterscheiden. Grundsätzlich können alle Stichprobenwerte signifikant voneinander verschieden sein, in manchen Fällen sind es aber auch nur wenige. Welche der FE-Muster sich nun hinsichtlich dieser Wirkung auf die Rentabilität unterscheiden, kann in weiteren Tests erforscht werden. Aus der Vielzahl der für die Untersuchung von Mittelwertsdifferenzen vorgeschlagenen Verfahren sind besonders zwei als meistangewendete Verfahren hervorgetreten. Im einzelnen sind dies die S-Methode nach Scheffé und der Newman-Keuls-Test.¹⁾

Die Scheffé-Methode hat den Vorteil, daß sie auf Stichproben verschiedener Größe angewendet werden kann, gleichzeitig ist sie aber dem Newman-Keuls-Test hinsichtlich der Effizienz unterlegen. Letzterer ist aber nur auf Mittelwerte von Stichproben gleichen Umfangs anwendbar.

Da Aussagen über die Klassenbesetzung a priori nicht getroffen werden können, soll hier dem flexibleren Verfahren der Vorzug gegeben werden. Hinsichtlich der Gruppenbeset-

1) Vgl. Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker, a.a.O., S.283

zungen bestehen beim Scheffé-Test keine Einschränkungen. Vorteilhaft ist an diesem Verfahren auch, daß es relativ robust gegen eine Verletzung der Voraussetzungen der Varianzanalyse ist.¹⁾

Sollen die Unterschiede der in den FE-Musterklassen enthaltenden Stichproben aufgedeckt werden, müssen alle Mittelwerte oder auch andere sinnvolle, lineare Mittelwertskombinationen verglichen werden.

Benutzen alle Vergleiche dieselben Koeffizienten, mit denen die Mittelwerte gewichtet werden, genügt die Berechnung nur einer Prüfgröße, die auch als kritische Größe bezeichnet wird. Werden die n Gesamtkapitalrentabilitäts-Mittelwerte aus den n verschiedenen Musterklassen betrachtet, so gilt in Anlehnung an die oben benutzte Definition mit c_n als Koeffizient des n-ten Mittelwertes und a_n als Umfang der n-ten Stichprobe:

$$(3.211) \quad \text{Kritische Größe} = \sqrt{(n-1) F_{\text{theoretisch } \alpha}} \cdot \sqrt{MQ_{\text{innerhalb}} \sum \frac{c_n^2}{a_n}}$$

Die aus den Mittelwertsvergleichen gebildeten Werte müssen diese kritische Größe überschreiten, um signifikant zu sein. In den $n(n-1)/2$ möglichen paarweisen Vergleichen der Mittelwerte ist bei einem solchen Paar eine Signifikanz zu diagnostizieren, dessen Wert über der kritischen Größe liegt. Zwischen diesen beiden Gruppen liegt also ein Wirkungsunterschied.

Interpretierend kann nun in Bezug auf unsere Fragestellung aus einer Konstellation, bei der die Vergleichsgröße der Mittelwerte höher ist als die kritische Größe, die Aussage getroffen werden, daß ein bestimmtes FE-Muster höhere Wirkung auf die Gesamtkapitalrentabilität hat, als das mit diesem verglichene.

1) Vgl. Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker, a.a.O., S.279, Glaser, W.K., a.a.O., S.129

Für die Durchführung sowohl der Varianzanalyse als auch der Zusatzrechnungen empfiehlt sich der Einsatz von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, da der Rechenaufwand recht erheblich ist und stark mit der Zahl der Beobachtungswerte steigt. Als Hilfsmittel kann das Programm-Paket SPSS dienen, bei dem für den Fall der einfachen Varianzanalyse die Prozedur ONEWAY vorgesehen ist. Dieses Unterprogramm erlaubt neben anderen Testoperationen für die Abschätzung der Wirkungsunterschiede der verschiedenen Gruppen auch die maschinelle Durchführung des Scheffé-Tests.¹⁾²⁾

3 2 3.2 4 Voraussetzungen der Varianzanalyse

Wie bei jedem anderen mathematisch-analytischen Modell müssen verschiedene Voraussetzungen der Varianzanalyse erfüllt sein, wenn ihre Aussagen eine gewisse Gültigkeit beanspruchen sollen. Für jede konkrete Anwendung müssen diese Voraussetzungen geprüft werden und bei Verletzung der Annahmen geeignete Maßnahmen getroffen werden.

Im einzelnen bedingt die Hypothesenprüfung mit Hilfe des F-Tests normalverteilte Grundgesamtheiten, Zufallsstichproben, additive Verknüpfung der Komponenten von Beobachtungswerten und Varianzhomogenität.²⁾

Die erstgenannte Voraussetzung betrifft die Annahme normalverteilter Populationen in den Gruppen bzw. in der Grundgesamtheit. Sie wird deswegen gemacht, weil sie der Ableitung der F-Verteilung und damit dem F-Test selbst zugrunde liegt. Diese Voraussetzung muß jedoch nicht in ihrem strengsten Sinne erfüllt werden. Auch bei Abweichungen von der Normalverteilung wird die Validität des F-Tests nicht erheblich beeinträchtigt. Nach dem Zentralen Grenzwertsatz nähert sich die Verteilung von Strichprobenmittelwerten

1) Vgl. Beutel, Peter und Werner Schubö: SPSS Statistik-Programm-System für die Sozialwissenschaften, Stuttgart - New York 1982, S.206ff.

2) Vgl. zum folgenden: Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker, a.a.O., S.255ff; Glaser, W.R., a.a.O., S.102ff; Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; U.Humme; W.Lohrberg; W.Schreiner, a.a.O., S.41ff.

auch bei nicht normalverteilten Populationen der Normalverteilung an, wenn nur die Stichprobe umfangreich genug wird. Daher können die noch vertretbaren Abweichungen mit zunehmenden Stichprobenumfang größer werden. Es empfiehlt sich eine graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der untersuchten Parameter in einem Histogramm. Ergibt sich per Augenschein eine annäherend symmetrische und unimodale Verteilung, reicht dies zur Erfüllung der Voraussetzung in der Mehrzahl der Fälle aus.

Sowohl die Fehlerkomponenten als auch die Maßzahlen müssen zwischen und innerhalb der Stichproben als voneinander unabhängig betrachtet werden. Dies gilt aber nur, wenn keine systematischen Fehler auf die Untersuchung einwirken. Daher müssen die den einzelnen Bedingungen zugeordneten Stichproben gemäß dem Zufallsprinzip ausgewählt worden sein. Die Chance, in die Stichprobe zu gelangen, muß also für jedes Element, unabhängig von jedem anderem Element, gleich sein. Für unser Beispiel gilt daher, daß die untersuchten Unternehmungen aus den einzelnen FE-Musterbesetzungen nach Zufall ausgewählt werden müssen.

Wird bei der Varianzanalyse ein Beobachtungswert als Verknüpfung der drei Komponenten Gesamtmittelwert ohne Außen- einfluß, Einfluß der unabhängigen Variablen und nicht- erklärte Einflüsse gesehen, so müssen diese Komponenten additiv verknüpft sein. Fehlende Additivität führt häufig zur Verletzung der letztgenannten Voraussetzung, der Varianzhomogenität, welche besagt, daß die Varianzen der einzelnen Stichproben homogen bzw. gleich sein müssen. Weichen die Varianzen der einzelnen Stichproben zu sehr voneinander ab, ist anzunehmen, daß eine Bedingung, unter der der F-Wert nur durchgeführt werden kann, nämlich die Unabhängigkeit von Fehlern und Effekten, nicht erfüllt ist. Allerdings haben Untersuchungen zu diesem Problem gezeigt, daß der F-Test solange recht unempfindlich gegen eine Verletzung der Varianzhomogenität reagiert, wie die Abweichungen in Grenzen bleiben. Die Varianzheterogenität bewirkt, daß die Nullhypothese im Test zu früh verworfen wird. Unter der Annahme, H_0 gelte in der Population, führt Varianzheterogenität also zu einer höheren Wahrscheinlichkeit, die Null-

hypothese irrtümlich abzulehnen, als ursprünglich mit dem Signifikanzniveau festgelegt wurde. Für die Prüfung, ob die Voraussetzung der Varianzhomogenität für die Teilpopulationen erfüllt wird, wurden verschiedenen Tests entwickelt, von denen die weitverbreitetsten der $F_{\max}$ -Test von Hartley, der Bartlett-Test und der Cochran-Test sind. Alle Tests können auch im Rahmen des SPSS-Programms gerechnet werden.¹⁾

Die Aussagefähigkeit der meisten Tests muß allerdings dahingehend relativiert werden, daß sie weit weniger robust gegen eine Verletzung der Voraussetzung der Normalverteilung der Maßzahlenpopulationen sind als die Varianzanalyse selbst. In diesem Sinne ist der Bartlett-Test ein sehr empfindliches Verfahren. Er zeigt bereits dort eine Varianzheterogenität, wo der F-Test noch durchaus sinnvoll eingesetzt werden kann. Gerade weil dieser Test auch auf Abweichungen der Stichprobenverteilungen von der Normalverteilung anspricht, kann er auch zu signifikanten Ergebnissen trotz Homogenität der Varianzen kommen. Er liefert also im Hinblick auf die verletzte Voraussetzung nur unspezifische Aussagen. Angewendet werden sollte der Test außerdem nur, wenn keine Varianzen auf weniger als drei Meßwerte und die meisten Varianzen auf mehr als fünf Meßwerten beruhen.²⁾ Vielerorts wird in der Fachliteratur die Meinung vertreten, die Robustheit der Varianzanalyse erlaube den gänzlichen Wegfall des Tests auf Varianzhomogenität. Insbesondere die Untersuchungen von Box³⁾ zeigen, daß der F-Test von heterogenen Varianzen und/oder von der Normalverteilung abweichenden Populationen wenig beeinflusst wird, wenn die

-
- 1) Vgl. Beutel, Peter und Werner Schubö, a.a.O., S.208; für die analytische Darstellung der Tests s. für $F_{\max}$ - und Bartlett-Test: Glaser, W.R., a.a.O., S.104ff und für den Cochran-Test: Schuchard-Fischer, C.; K.Backhaus; U.Humme; W.Lohrberg; W.Plinke; W.Schreiner, a.a.O., S.42f.
 - 2) Vgl. Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker, a.a.O., S.257f.
 - 3) Vgl. Box, G.E.P.: Nonnormality and Test on Variances, in: Biometrika, Vol.40, 1953, S.318-335 und ders.: Some Theories on Quadratic Forms Applied in the Study of Analysis of Variance Problems, in: The Annals of Mathematical Statistics, Vol.25, 1954, S.290-302 und S.484-498

Zahl der Gruppenstichproben nicht zu klein ist. Als Faustregel für die praktische Anwendung wird für die Maßzahlen je Stichprobe eine Untergrenze von 10 bis 20 genannt. Trotz der Möglichkeit der Durchführung der univariaten Varianzanalyse mit unterschiedlichen Gruppenbesetzungen, sollte dabei weiterhin auf zahlenmäßig gleich große Gruppenbesetzungen geachtet werden. Werden mit der Clusteranalyse nur kleinere Stichproben und/oder solche mit starken Unterschieden in der Besetzungszahl erzeugt, sollte ein Test auf Varianzhomogenität durchgeführt werden.

Eine weitere Möglichkeit, mangelnder Erfüllung der Voraussetzungen zu begegnen, besteht in der Transformation von Daten, also in der Veränderung der Meßskala. Diese Methode kann Fehler korrigieren, die durch mangelhafte Additivität der Komponenten, Abweichungen von der Normalverteilung und Heterogenität der Stichprobenvarianzen entstehen. Da keine feste Beziehung zwischen einer bestimmten Transformationsmethode und einem zu korrigierenden Fehler bestehen, können allgemeine Regeln für die Auswahl der jeweils geeignetsten Transformationsfunktion nicht gegeben werden. Die Auswahl hat sich vielmehr an der konkreten Situation auszurichten und erfordert u.U. das Durchprobieren mehrerer Möglichkeiten.¹⁾

Auch die Veränderung des Signifikanzniveaus kann in Betracht gezogen werden, wenn die Voraussetzungen der Normalverteilung und Varianzhomogenität verletzt sind. Von der Normalverteilung abweichenden und voneinander unterschiedlichen Verteilungsformen etwa gleicher Flächen und entsprechend geringen Unterschieden in den Varianzen kann durch geringfügiges Anheben des Signifikanzniveaus begegnet werden. Ist Normalverteilung gegeben, ergibt aber der Vergleich von maximaler und minimaler Varianz einen Wert von ungefähr 10, empfiehlt sich eine Erhöhung des Signifikanzniveaus um leicht mehr als das Doppelte. Sind die Varianzen homogen, liegt aber keine Normalverteilung vor, wird eine

1) Verschiedene Transformationsmethoden zeigen: Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker, a.a.O., S.258ff. und Glaser, W.R., a.a.O., S.112ff.

nur knappe Verdopplung des Signifikanzniveaus geraten. Bei starken Abweichungen von der Normalverteilung und einem Verhältnis von maximaler zu minimaler Varianz von höchstens 45, sollte das Signifikanzniveau auf das etwa drei- bis vierfache des gewählten Wertes angehoben werden.¹⁾

Das SPSS-Programm zeigt das Signifikanzniveau, bei dem die Nullhypothese gerade noch verworfen wird. Dies erleichtert die Anwendung dieser Regeln, da das errechnete Signifikanzniveau verglichen werden und entsprechende Schlüsse über Annahme oder Ablehnung der Nullhypothese getroffen werden können. Aus diesen Möglichkeiten von Maßnahmen bei fehlenden Voraussetzungen der Varianzanalyse folgt: "Wo die Bedingungen der Varianzhomogenität und Normalverteilung aller hypothetischen Bedingungspopulationen nicht mehr als erfüllt angesehen werden können, kann die Varianzanalyse dennoch eingesetzt werden, solange die angegebenen Grenzen der Heterogenität von Formen und Varianzen der Verteilungen nicht noch deutlich überschritten werden, wenn man die einzelnen Gruppen nicht zu klein und mit gleichem Umfang wählt und unter Umständen ein höheres Signifikanzniveau verwendet, als der Untersuchung nach zugrunde zu legen wäre."²⁾

1) Vgl. Glaser, W.R., a.a.O., S.111f.

2) Ebenda, S.112

4 Empirische Überprüfung des Modells zur Forschungs- und Entwicklungs-Effizienzanalyse

4 1 Die Daten der Untersuchung

Um Praktikabilität, sachliche Relevanz und Aussagekraft des im Kapitel 3 dieser Arbeit vorgestellten Modells an der Realität zu testen, wurden empirische Daten erhoben und mit diesen ein Probelauf der notwendigen Rechnungen durchgeführt.

Für die Datenerhebung wurden die Merkmale zur Charakterisierung industrieller FE-Bereiche in eine für eine empirische Erhebung geeignete Form gebracht und in einem Fragebogen aufgelistet¹⁾.

Dieser Fragebogen wurde schließlich mit freundlicher Unterstützung des Zentralverbandes der Elektrotechnischen Industrie e.V. (ZVEI) an 48 Unternehmen der elektrotechnischen Industrie versandt.

Als Rücklauf dieser Fragebogenaktion ergab sich eine Stichprobe von 30 Unternehmen aller Größenklassen und Branchen innerhalb des Industriezweiges Elektrotechnik, was einer Rücklaufquote von mehr als 58 Prozent entspricht.

Wegen überwiegend fehlender oder zu ungenauer Angaben mußten 2 Fragebogen ausgesondert werden; alle übrigen waren, was die FE-Variablen betrifft, vollständig ausgefüllt. Von den letztlich 28 in die Untersuchung einbezogenen Unternehmen fehlten trotz der Möglichkeit, aus Gründen des Datenschutzes auch anonym, d.h. ohne Preisgabe der Unternehmensidentität, zu antworten, bei einigen die Angaben zu dem Renditemaß. In den Fällen, wo der Name des Unternehmens angegeben war und dieses gleichzeitig in die Gruppe der publizitätspflichtigen Unternehmen einzuordnen war, konnten die fehlenden Daten aus Geschäftsberichten errechnet werden. Es blieben 2 Unternehmen, deren Rendite nicht in Erfahrung gebracht werden konnte. Sie wurden im Prozeß der

1) s. zum Fragebogen Anhang II

Mustererkennung berücksichtigt, konnten aber nicht in die Varianzanalyse einbezogen werden.

Unternehmen, deren FE-Bereich z.B. regional zu breit gestreut ist, als daß eine einheitliche Erfassung der gesamten FE-Aktivitäten möglich wäre, wurde auch anheim gestellt, alle Antworten auf ein selbstständiges Subunternehmen zu beziehen. Allerdings mußten dann auch die Renditeangaben von der Unternehmenseinheit angegeben werden, deren FE-Merkmale auch im Fragebogen erfaßt wurden.

Die endgültig mittels des Fragebogens erhobenen Merkmale wiesen teils metrisches (z.B. Anzahl der Beschäftigten im FE-Bereich, Anteil von Akademikern an allen im FE-Bereich Beschäftigten) und teil nominales (z.B. systematische Speicherung der FE-Ergebnisse, Leistungsanreize über besondere Entgelte) Skalenniveau auf. Die nominalen Variablen waren weiterhin teilweise in mehrkategoriale binäre Merkmale aufgespalten (z.B. Hauptkriterium für die Festlegung der jährlichen FE-Aufwendungen)¹⁾.

Bevor nun mit den aus den Fragebögen gewonnen Rohdaten die notwendigen Rechnungen zur Effizienzanalyse industrieller FE-Bereiche durchgeführt werden konnten, waren einige vorbereitende Maßnahmen im Interesse einer geeigneten Datenaufbereitung und -verarbeitung erforderlich.

Alle endgültigen Rechnungen wurden im Rechenzentrum der Universität Mainz unter Zuhilfenahme der Programmpakete CLUSTAN und SPSS durchgeführt.

4 2 Die Merkmalsvorverarbeitung

Liegen die erhobenen Daten in Rohform vor, ist der gesamte Datenset zunächst daraufhin zu prüfen, ob nicht-trennfähige oder hoch-korrelierte Merkmale auszusondern sind.

Um unangemessene einseitige Gewichtungen zu vermeiden, gleichzeitig aber die für Klassenbildung wichtige interne Gewichtung der Merkmale zu erhalten, wurde in Kapitel

1) s. Anhang III für eine Liste aller in die Untersuchungen einbezogenen Variablen

3 2 2 2 1 2 darauf verwiesen, nur hoch korrelierte Merkmale mit einem Korrelationskoeffizienten $|r^*| \geq 0,9$ auszusondern. Gleichzeitig wurde im Fall binärer Variabler vorgeschlagen, Merkmale mit einem Anteil von $p \leq 0,05$ bzw. $p \geq 0,95$ nicht zu berücksichtigen, da sie im Hinblick auf die Klassifikation kaum Aussagekraft besitzen und zur Separation nur einen geringen Beitrag liefern.

Während bei den auf metrischem Skalenniveau erhobenen Merkmalen keine über dem Grenzwert liegenden Korrelationen auftraten, zeigten drei binär erfaßte Variable Häufigkeiten von $p = 0,036$. Es waren dies bei den Hauptkriterien für die Festlegung der jährlichen FE-Aufwendungen Gewinn des Vorjahres und FE-Aufwand Vorjahr (Punkte 6.3 und 6.5 des Fragebogens) sowie bei der Frage nach internen Kontakten der FE-Abteilung die Kategorie 'keine Kontakte' (Punkt 14.1 des Fragebogens). Sie konnten folglich aus den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen werden.¹⁾

Die Maßnahmen zur Behandlung gemischt skaliertter Daten wurden ebenso wie die Möglichkeiten der Merkmalsreduktion in o.g. Kapitel diskutiert. Klassifikationsverfahren für die gemeinsame Berücksichtigung der verschiedenen Skalenniveaus befriedigen nur wenig.²⁾ Da nur weniger als die Hälfte aller Merkmale aus der Untersuchung metrisch ausgeprägt sind, wird der Niveau-Regression unter den verbleibenden Möglichkeiten, 'mixed-data' Probleme zu verarbeiten, Vorzug eingeräumt. Dabei müssen alle metrischen in binäre Merkmale transformiert werden. Vogel empfiehlt als Verfahren dafür die Dichotomisierung. Sie erlaubt die zumindest teilweise Nutzung der vorhandenen Informationen, ohne daß damit eine Gewichtsverlagerung zwischen den Merkmalen in Kauf genommen werden muß.³⁾

Alle metrisch ausgeprägten Merkmale wurden über den Mittelwert dichotomisiert, wobei jede Ausprägung unterhalb des

1) s. für eine Tabelle der Korrelationskoeffizienten Anhang IV.1 und für eine Übersicht der Häufigkeiten binärer Merkmale Anhang IV.2

2) Vgl. Vogel, a.a.O., S. 72

3) Vgl. ebenda, S. 77

jeweiligen Mittelwertes mit einer 0 und oberhalb mit einer 1 codiert wurde.

Als Distanzmaß wird der Euklidische Abstand für Binärdaten eingesetzt, den Klassifizierungsalgorithmus liefert das Ward-Verfahren. Dieses Verfahren faßt stufenweise die Elemente einer Objektmenge solange zusammen, bis schließlich alle Objekte in einer Klasse vereinigt sind. Dabei werden auf jeder Fusionierungsstufe die Objekte bzw. Objektgruppen verbunden, die den geringsten Zuwachs zu einem Heterogenitätsmaß, hier das Varianzkriterium, erbringen. Somit enthält die Distanzmatrix bei dem Ward-Verfahren den jeweiligen Zuwachs der Summe der Fehlerquadrate bei einer Verschmelzung.¹⁾

Für die Festlegung der Clusterzahl werden unter Verwendung des Elbow-Kriteriums die stufenweisen Veränderungen des Heterogenitätsmaßes gegen die Clusterzahl abgetragen. Dort, wo eine Sprungstelle bzw. ein Knick im Verlauf der Fehlerquadrate auftritt, kann die richtige Clusterzahl vermutet werden, da darüber hinaus ein starkes Anwachsen der Cluster-Heterogenität zu stark inhomogenen Clustern führt.

4 3 Ergebnisse der empirischen Analysen

4 3 1 Empirisch gewonnene Musterklassen industrieller Forschungs- und Entwicklungs-Bereiche

Unter Verwendung des Ward-Verfahrens und bei Einbeziehung von 44 binär codierten Variablen, 19 davon über den Mittelwert dichotomisiert, ergab sich das in Abb. 25 gezeigte Dendrogramm, an dessen linker Seite die Entwicklung des Varianzkriteriums bei zunehmender Fusionierung abzulesen ist.²⁾

1) Vgl. Wishard, David, a.a.O., S. 36

2) Zwecks Ausschaltung von Merkmalskorrelationen und zur Reduzierung des Merkmalsraumes wird häufig vorgeschlagen, der Clusteranalyse eine Faktorenanalyse vorzuschalten. Da die Faktorenanalyse metrisches Skalenniveau der Variablen verlangt, wurde nur über den me-

DENDROGRAM

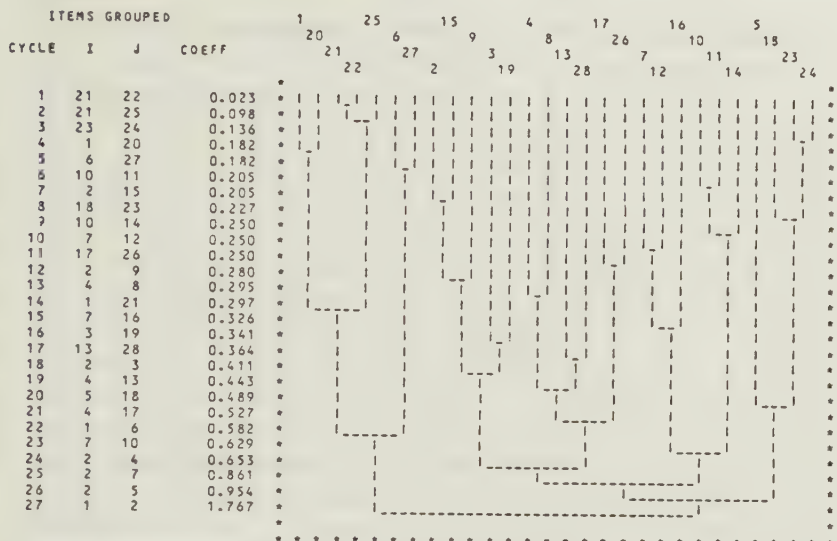


Abb. 25: Dendrogramm der Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren mit 44 binären Variablen

Die Betrachtung des Elbow-Kriteriums zeigt einen deutlichen Sprung im Heterogenitätszuwachs beim Übergang von zwei zu einem Cluster (Vergrößerung des Varianzkriteriums um 0,813).

trisch-ausgeprägten Teil eine derartige Analyse gerechnet. Aus den 19 Variablen wurden sieben Faktoren extrahiert, sechs davon mit einem Eigenwert größer eins und einer mit einem Wert dicht unter eins. Eine anschließende Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren mit den aus dieser Faktorenanalyse errechneten Faktorenwerten erbrachte wiederum die Fusion von sechs der sieben ursprünglich zusammengefaßten Elemente in einer Gruppe. Allerdings zeigte sich eine größere Zahl Ausreißer, wobei das Heterogenitätskriterium seinen größtem Sprung beim Übergang von sechs zu fünf Clustern zeigte. Da die sieben Faktoren rein fiktive Klassifikationsmerkmale waren und zum Teil nicht aus den jeweils hinter ihnen stehenden Variablen erklärt werden konnten, ergaben sich erhebliche Interpretationsschwierigkeiten. Aus diesem Grund wurden alle weiteren Rechnungen auf Basis der ursprünglichen Merkmale gerechnet.

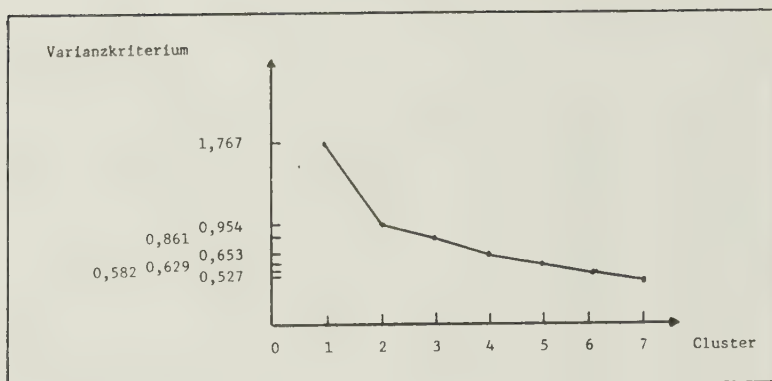


Abb. 26: Elbow-Kriterium für die Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren mit 44 binären Variablen

Bei diesem Ergebnis entschieden wir uns für die Zwei-Cluster-Lösung, so daß Cluster 1 mit sieben Objekten und Cluster 2 mit 21 Objekten besetzt war. Sieben FE-Bereiche aus unserem Sample unterschieden sich folglich deutlich von allen anderen untersuchten Einheiten. Da diese Lösung in einem weiteren Schritt des FE-Analysesystems als Ausgangsmaterial für den weiteren bedeutenden Schritt der Effizienzermittlung mit Hilfe der Varianzanalyse diente, wurde zunächst die Stabilität der Ergebnisse der Clusteranalyse mittels verschiedener Methoden getestet.

Als erster Test auf die Stabilität der Ergebnisse wurde ein Relocate-Lauf durchgeführt. Die im Rahmen des CLUSTAN-Programmpakets abrufbare Prozedur Relocate ist ein iteratives Verfahren, um von einer zufälligen Ausgangsklassifikation über einen Austauschalgorithmus ein lokales Optimum für die Clusterlösung zu finden.¹⁾ Wir erhielten für eine zufällige Ausgangspartition von zehn Clustern ein dem Ward-Verfahren ähnliches Resultat. Alle dort in Cluster 1 fusionierten Objekte fanden sich in einem Cluster wieder. Das Ergebniss wich nur insofern von der vorherigen Lösung ab, als ledig-

1) Vgl. Wishard, David, a.a.O., S. 46

lich ein zusätzliches Element dieser Gruppe zugeordnet wurde. Ebenso deutlich zeigte auch eine zweiseitige Clusteranalyse eine hohe Stabilität der mit dem Ward-Verfahren gefundenen Clusterlösung. Hierfür wurden getrennt für die metrischen und für die binären Merkmale jeweils eine Clusteranalyse mit dem Euklidischen Distanzmaß und dem Ward-Verfahren gerechnet. Beide Analysen getrennt deuteten gemäß dem Elbow-Kriterium auf eine Zwei-Cluster-Lösung hin, da bei beiden beim Übergang von der Zwei- zur Ein-Cluster-Lösung ein überproportionaler Heterogenitätszuwachs zu verzeichnen war. Zusammengefahren zeigten sich in einem Cluster sechs der schon bei dem ersten Lauf gefundenen Objekte vereinigt. Lediglich ein Element wurde einer anderen Musterklasse zugeordnet.

Die Ergebnisse der Clusteranalyse mit den 19 metrischen Merkmalen lassen sich weiterhin verschiedenen Analysen und Überprüfungen unterziehen. So konnte mit Hilfe einer stufenweisen Diskriminanzanalyse die Güte der Trennung der beiden in der Clusteranalyse gefundenen Gruppen untersucht werden. Beschränken mußten wir uns dabei auf das metrisch-skalierte Datenset, da die Diskriminanzanalyse Nominalskalenniveau der abhängigen und metrisches Skalenniveau der unabhängigen Variablen voraussetzt. Bei dem sequentiellen Vorgehen der stufenweisen Diskriminanzanalyse "werden sukzessive Variable nach einem bestimmten Auswahlkriterium in die Analyse einbezogen. Es wird jeweils die Variable ausgewählt, die am meisten die Gruppentrennung verbessern kann. Mit zunehmender Variablenzahl vergrößert sich die Homogenität der einzelnen Gruppen, und die Unterschiede zwischen den Gruppen werden immer größer. Der Prozeß wird solange fortgesetzt, bis entweder alle Ausgangsvariablen in die Analyse einbezogen sind oder keine Variablen mehr gefunden werden können, die die Gruppentrennung noch verbessern können."¹⁾

Die Diskriminanzanalyse zeigt im Ergebnis, daß die Zwei-Cluster-Lösung auf Basis der metrischen Variablen zu 100

1) Weiber, Rolf, a.a.O., S. 114

Prozent bestätigt wurde. Deutlich wird dies bei Betrachtung der Klassifikationsmatrix.¹⁾

CLASSIFICATION RESULTS -

ACTUAL GROUP		NO. OF CASES	PREDICTED GROUP MEMBERSHIP 1	2
-----		-----	-----	-----
GROUP	1	7	7 100.0%	0 0.0%
GROUP	2	21	0 0.0%	21 100.0%

PERCENT OF "GROUPED" CASES CORRECTLY CLASSIFIED: 100.00%

Abb. 27: Klassifikationsmatrix der stufenweisen Diskriminanzanalyse

Darüberhinaus sind zur Trennung dieser beiden Gruppen nicht alle Variablen notwendig, vielmehr konnten im Rahmen der stufenweisen Diskriminanzanalyse folgende acht trennfähige Merkmale extrahiert werden²⁾:

SUMMARY TABLE

STEP	ACTION ENTERED REMOVED	VAR IN	WILKS' LAMBDA	SIG.
1	V9	1	0.396170	0.0000
2	V18	2	0.295770	0.0000
3	V14	3	0.223529	0.0000
4	V10	4	0.178711	0.0000
5	V3	5	0.158694	0.0000
6	V5	6	0.145302	0.0000
7	V1	7	0.123815	0.0000
8	V15	8	0.111012	0.0000

Abb. 28: Trennungswirksame Variable nach der stufenweisen Diskriminanzanalyse

- 1) s. zum Streudiagramm der stufenweisen Diskriminanzanalyse Anhang V
- 2) s. für die Benennung der Variablen Anhang III

Neben den Rechnungen mit dichotomisierten Variablen wurde auch eine Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren gerechnet, bei der die ursprünglich metrisch-skalierten Merkmale in mehrere selbständige binäre Merkmale aufgespalten waren. Je ein metrisches Merkmal war aufgeteilt in drei binäre Merkmale, wobei jedoch nicht jede Binärvariable die gleichen Intervallabstände abdeckte. So wurde z.B. das Merkmal Beschäftigte im FE-Bereich gespalten in kleine, mittlere und große FE-Bereiche mit jeweils bis 100, von 101 bis 1000 und mehr als 1000 Beschäftigten.

Als Ergebnis dieser Clusteranalyse ergab sich ein Sprung im Varianzkriterium zwischen der Fünf- und Vier-Cluster-Lösung. Als letzte Gruppen fusioniert wurde eine Klasse mit vier Objekten, die wiederum alle auch in der ersten Gruppe der Clusteranalyse mit den über den Mittelwerten dichotomisierten Merkmalen zu finden waren.

Nachdem alle Rechnungen die Stabilität der gefundenen Clusterlösungen bestätigten, wurde der Test auf die unterschiedlichen Erfolgswirkungen der Musterklassen mit Hilfe der Varianzanalyse durchgeführt.

4 3 2 Analyse der Erfolgsunterschiede der ermittelten Musterklassen

Unsere Arbeitshypothese lautete, daß von der unterschiedlichen Ausgestaltung des FE-Bereiches Auswirkungen auf deren Erfolg ausgehen. Zur Überprüfung dieser These haben wir die empirisch ermittelten FE-Gestaltungsformen in Musterklassen zusammengefaßt. Im folgenden sollte mittels der Varianzanalyse ein Test auf die unterschiedlichen Erfolgswirkungen erfolgen.

Dazu wurde die Klassenzugehörigkeit der einzelnen Elemente als unabhängige und die Rendite, einmal im letzten Jahr und andermal der Durchschnitt der letzten drei Jahre, als abhängige Variable in die Analyse einbezogen. Gab es einen Einfluß der Musterklassen auf die Erfolgsgröße, so mußten sich die Musterklassen hinsichtlich ihrer Renditewerte signifikant unterscheiden.

Eine einfache Varianzanalyse mit der Zwei-Gruppen-Lösung aus der ersten Clusteranalyse, also Gruppe 1 besetzt mit sieben und Gruppe 2 besetzt mit 19 Unternehmen (2 Elemente konnten wegen fehlender Angaben zur Rendite nicht in die Varianzanalyse einbezogen werden), erbrachte die Bestätigung der Vermutung eines Zusammenhanges von FE-Ausprägung und Unternehmenserfolg.

Für die Untersuchung mit der Rendite des letzten Jahres ergab sich, wie Abb. 29 zeigt, ein Signifikanzniveau von 3,84 Prozent und für die Rechnungen mit den Durchschnittswerten der letzten drei Jahre ein Wert von 4,66 Prozent. In beiden Fällen wurde folglich ein Sicherheitsniveau von 95 Prozent für die Bestätigung unserer Hypothese übertroffen. Es zeigten sich bei der Rechnung mit der einfachen Rendite ein Mittelwert der Gruppe 1 von 9,4571 und der Gruppe 2 von 5,2947. Bei den Rechnungen mit den Drei-Jahres-Werten lagen die Zahlen bei 9,0714 und 5,2833. In beiden Analysen zeigte sich folglich eine wesentlich höhere Durchschnittsrendite in der ersten gegenüber der zweiten Musterklasse.

Tests auf die Analyse von Mittelwertsunterschieden (z.B. S-Methode nach Scheffé) erübrigten sich, da nur zwei Gruppen zu betrachten waren. Die Tests auf Varianzhomogenität erbrachten für das einfache Renditemaß gute Ergebnisse. Der Cochran-Test zeigte ein Signifikanzniveau von 1,1 Prozent, der Bartlett-Test ein Ergebnis von 4,8 Prozent. Die gleichen Tests bei den Drei-Jahres-Werten zeigten allerdings schlechtere Werte mit 16,2 Prozent Irrtumswahrscheinlichkeit für den Cochran-Test und 26,2 Prozent für den Bartlett-Test.

Sieht man die These der unterschiedlichen Erfolgswirkung der FE-Musterklassen aufgrund dieser Ergebnisse als weitgehend bestätigt an, interessiert im folgenden besonders die Charakterisierung der erfolgreichen im Vergleich zu allen anderen FE-Bereichen.

EINFACHE VARIANZANALYSEN
 VARIANZANALYSE MIT RENDITE
 FILE MONAME (CREATION DATE = 12/21/85)

----- O N E W A Y -----

VARIABLE RENDIT
 BY VARIABLE GRUPE

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARES	F RATIO	F PROB.
BETWEEN GROUPS	1	88.6272	88.6272	4.801	0.0384
WITHIN GROUPS	24	443.0266	18.4594		
TOTAL	25	531.6539			

GROUP	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	STANDARD ERROR	MINIMUM	MAXIMUM	95 PCT CONF INT FOR MEAN
GROUP1	7	9.4571	2.1801	0.8240	5.2000	12.0000	7.4409 TO 11.4734
GROUP2	19	5.2947	4.7988	1.1009	0.0000	15.0000	2.9818 TO 7.6077
TOTAL	26	6.4154	4.6115	0.9044	0.0000	15.0000	4.5527 TO 8.2780

TESTS FOR HOMOGENEITY OF VARIANCES

COCHRAN'S C = MAX. VARIANCE/SUM(VARIANCES) = 0.8289, P = 0.011 (APPROX.)
 BARTLETT-BOX F = 3.939, P = 0.048
 MAXIMUM VARIANCE / MINIMUM VARIANCE = 6.845

NO RANGE TESTS PERFORMED WITH FEWER THAN THREE NON-EMPTY GROUPS.

Abb. 29: Ergebnisse der Varianzanalysen

EINFACHE VARIANZANALYSEN
 VARIANZANALYSE MIT DURCHSCHNITTEN
 FILE NONAME (CREATION DATE = 12/21/85)

----- O N E M A Y -----

VARIABLE DURCH
 BY VARIABLE GRUPPE

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARES	F RATIO	F PROB.
BETWEEN GROUPS	1	72.3223	72.3223	4.421	0.0466
WITHIN GROUPS	23	376.2593	16.3591		
TOTAL	24	448.5816			

GROUP	COUNT	MEAN	STANDARD DEVIATION	STANDARD ERROR	MINIMUM	MAXIMUM	95 PCT CONF INT FOR MEAN
GRP001	7	9.0714	2.8849	1.0904	3.5000	12.3000	6.4034 TO 11.7395
GRP002	18	5.2833	4.3813	1.0327	0.0000	13.0000	3.1046 TO 7.4621
TOTAL	25	6.3440	4.3233	0.8647	0.0000	13.0000	4.5594 TO 8.1286

TESTS FOR HOMOGENEITY OF VARIANCES

COCHRAN'S C = MAX. VARIANCE/SUM(VARIANCES) = 0.6976, P = 0.162 (APPROX.)
 BARTLETT-BOX F = 1.261, P = 0.262
 MAXIMUM VARIANCE / MINIMUM VARIANCE = 2.307

NO RANGE TESTS PERFORMED WITH FEWER THAN THREE NON-EMPTY GROUPS.

Abb. 29: Ergebnisse der Varianzanalysen

4 3 3 Charakterisierung der Forschungs- und Entwicklungs-Musterklassen

Betrachtet man die Zwei-Klassen-Lösung mit dem besonders erfolgreichen Cluster 1, so interessiert für die weitere Analyse zum einen die Beschaffenheit dieser Klasse im Hinblick auf die Ausprägungen der die FE-Bereiche beschreibenden Merkmale, zum anderen der Vergleich von erfolgreichen und weniger erfolgreichen FE-Bereichen.

Im Cluster 1 sind acht Merkmale bei allen sieben FE-Bereichen dieser Gruppe vorzufinden. Alle weisen einen überdurchschnittlich hohen (über 51 Prozent) Anteil von Akademikern auf, alle zeigen einen über dem Mittelwert von 6,06 Prozent liegenden Anteil des FE-Aufwandes am Umsatz und einen gleichermaßen überdurchschnittlich hohen Anteil der Grundlagenforschung am gesamten FE-Aufwand (über 4,46 Prozent), sowie einen hohen Anteil mittelfristig orientierter FE (über 59 Prozent). Zu 100 Prozent sind die FE-Bereiche dieser Gruppe intern nach Produktgruppen organisiert und als Hauptabteilung in die Unternehmensorganisation integriert. Kontakte sowohl zu unternehmensexternen Institutionen als auch zu anderen Unternehmensabteilungen bestehen bei all diesen FE-Bereichen häufig, d.h. mehr als 12 mal jährlich. Vergleicht man dieses Bild mit den in Cluster 2 zusammengefaßten Objekten, so zeigen sich dort durchweg geringere Häufigkeiten dieser Merkmale (s. Tab. 6 und Abb. 30). Weiterhin oft vorhanden sind in Klasse 1 eine relativ hohe a priori Erfolgswahrscheinlichkeit für einzelne FE-Projekte (Mittelwert 79,82 Prozent), ein hoher Anteil der Produkt- gegenüber der Verfahrens-FE (Mittelwert 80,54 Prozent), ein überdurchschnittlich hoher Anteil von Gemeinschafts- (Mittelwert 2,93 Prozent) und Vertragsforschung (Mittelwert 5,64 Prozent) am FE-Aufwand und ein relativ großer Zeitaufwand für Dokumentation und Berichterstattung (Mittelwert 16,43 Prozent). In dieser Gruppe wird zur Festlegung des jährlichen FE-Aufwandes entweder das Kriterium 'Erwarteter Umsatz' (71,4 Prozent) oder das Kriterium 'Erwarteter Gewinn' (28,6 Prozent) herangezogen, während in der zweiten Gruppe in über 42 Prozent der Beobachtungen eine Orientierung an dem für den Erhalt der FE-Kapazität notwendigen Aufwand erfolgt. Überwiegend werden in der er-

Variable	Prozentuale Häufigkeit in Musterklasse 1	Prozentuale Häufigkeit in Musterklasse 2	Differenz der Häufigkeiten
1	42,9	14,3	28,6
2	100	33,3	66,7
3	100	23,8	76,2
4	100	52,4	47,6
5	42,9	47,6	4,7
6	57,1	57,1	0
7	85,7	38,1	47,6
8	85,7	61,9	23,8
9	14,3	71,4	57,1
10	85,7	23,8	61,9
11	0	47,6	47,6
12	100	52,4	47,6
13	42,9	38,1	4,8
14	14,3	90,5	76,2
15	71,4	19	42,4
16	85,7	23,8	61,9
17	42,9	28,6	14,3
18	71,4	28,6	42,8
19	0	81	81
20	0	9,5	9,5
21	71,4	19	52,4
22	28,6	0	28,6
23	0	42,9	42,9
24	0	19	19
25	0	19	19
26	100	38,1	61,9
27	0	19	19
28	0	14,3	14,3
29	0	9,5	9,5
30	100	81	19
31	0	19	19
32	0	38,1	38,1
33	0	38,1	38,1
34	100	23,8	76,2
35	0	38,1	38,1
36	100	57,1	42,9
37	71,4	61,9	9,5
38	85,7	66,7	19
39	14,3	33,3	19
40	28,6	33,3	4,7
41	57,1	42,9	14,2
42	14,3	23,8	9,5
43	57,1	33,3	23,8
44	57,1	47,6	9,5

Tabelle 6: Prozentuale Häufigkeiten der Merkmale zur Charakterisierung industrieller FE-Bereiche

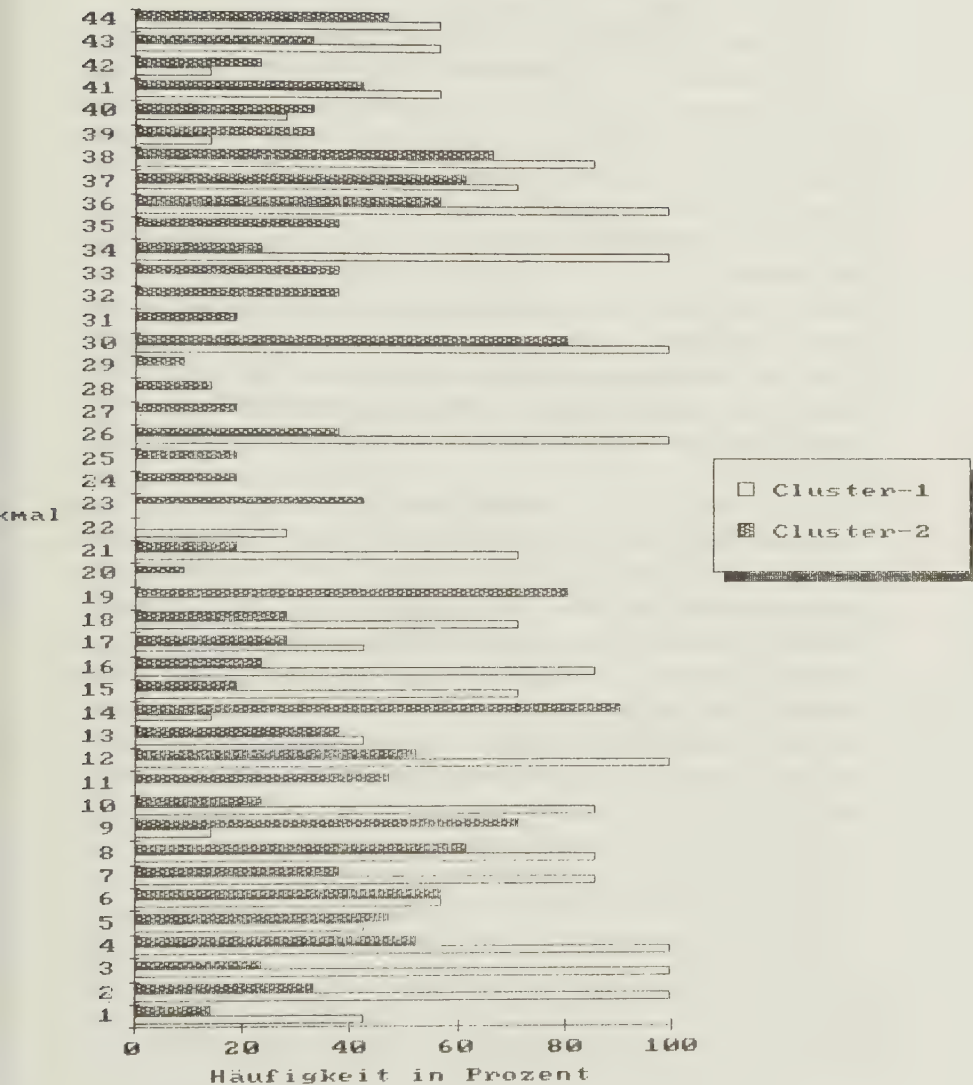


Abb. 30: Prozentuale Häufigkeit der Variablen bei der Zwei-Cluster-Lösung

in der erfolgreichen Gruppe die FE-Ergebnisse systematisch gespeichert. Anregungen für FE-Projekte kommen hier in 85,7 Prozent der Fälle von der Nachfrage-Seite.

Unterdurchschnittlich hoch ist bei allen FE-Bereichen des ersten Clusters der Anteil kurzfristiger FE (Mittelwert 25,11 Prozent) und das Durchschnittsalter der im FE-Bereich Beschäftigten (Mittelwert 39,57 Jahre). Hier ist auch im Gegensatz zum zweiten Cluster nur bei wenigen Untersuchungsobjekten ein höherer Anteil des Personalaufwands und der unternehmensinternen Forschung als im Durchschnitt anzutreffen.

Bezogen auf die hier untersuchten Unternehmen zeigen unsere Rechnungen recht klare Ergebnisse. Im Rahmen der explorativen Analysen konnten Strukturen innerhalb des Datensatzes aufgedeckt werden und die Hypothese hinsichtlich der Effizienzdifferenzen verschiedener FE-Musterklassen bestätigt werden.

Einschränkend bleibt jedoch festzuhalten, daß sich die Resultate lediglich auf das relativ kleine Sample der von uns betrachteten FE-Bereiche innerhalb des Industriezweiges Elektrotechnik beziehen lassen. Breiter angelegte Erhebungen, auch über verschiedene Industriezweige, sind nötig, sollen gesicherte und allgemeingültige Aussagen erzielt werden. Dies bleibt weiteren Analysen ebenso vorbehalten wie die Untersuchung, warum bestimmte Ausprägungen einzelner Variabler oder Variablengruppen effizienzbeeinflussend wirken.

5 Beurteilung des Verfahrens zur Analyse industrieller Forschungss- und Entwicklungs-Bereiche

5 1 Zusammenfassender Überblick der Forschungs- und Entwicklungs-Effizienzanalyse

Mit der gestiegenen Bedeutung von FE für Wachstum und Sicherung industrieller Unternehmen ging auch ein Wechsel der forschungstragenden Institutionen einher. Waren es im 19. Jahrhundert vor allem unabhängige Erfinder, die in privater Forschungsarbeit neue Erkenntnisse gewannen, so ist heute das unternehmenseigene Forschungslabor Ursprung der meisten naturwissenschaftlich-technischen Inventionen. In einem marktwirtschaftlich orientierten Wirtschaftssystem unterliegt damit die FE-Abteilung, genau wie alle anderen Bereiche eines Industrieunternehmens, den Zwängen der Wirtschaftlichkeit. FE muß sich genau wie alle anderen Unternehmenstätigkeiten rentieren. Die im Zuge des Trends steigender technischer Komplexität industrieller Güter weiter zunehmenden FE-Aufwendungen erfordern daher strenge Erfolgskontrollen. Gerade der Abteilung, deren Arbeit besondere Bedeutung für die Zukunft eines Unternehmens hat, deren Arbeitserfolge aber gleichzeitig sehr unsicher sind, muß besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.¹⁾ Dieser Erkenntnis entsprechend wurde eine Fülle von Modellen und Verfahren entwickelt, deren gemeinsames Ziel die Prüfung der Erfüllung der Wirtschaftlichkeitsforderung durch die FE-Abteilung ist. Eine allseits anerkannte, einheitliche und universell einsetzbare Methode konnte aber noch nicht vorgestellt werden. Ähnlich wie bei den Vorschlägen zur FE-Projektbewertung liegen die besonderen Probleme im Charakter der FE als einer mit großer Unsicherheit behafteter Aktivität und im Fehlen eines konkreten und das tatsächliche Ergebnis erfassenden Erfolgsmaßstabes. Die Besonderheiten der Informationsbeschaffenheit wirken auch auf den

1) Vgl. Pfeiffer, Werner und Erich Staudt: Zur Planung von Forschung und Entwicklung in der Unternehmung, in: ZfB, 44.Jg., 1974, S.281

Grad der erzielbaren Datengenauigkeit.¹⁾ Darüber erwachsen dann die Probleme realitätsnaher und wirkungsgerechter Ergebnisaussagen. Rechenbare Ergebnisse werden nur erzielt, wenn durch Annahmen und Abstraktionen Modellansätze so vereinfacht werden, daß ihre Aussagegenauigkeit und Realitätsangemessenheit in Frage zu stellen ist.²⁾ Dies gilt für das einzelne FE-Projekt ebenso, wie für die gesamte FE-Abteilung.

Die verschiedenen Versuche, dem Bewertungsproblem von FE-Abteilungen gerecht zu werden, wurden im zweiten Kapitel dieser Arbeit vorgestellt und erläutert. Aus der Diskussion der Modelle wird die 'trade-off'-Beziehung zwischen deren Realitätsnähe und Handhabbarkeit deutlich.

Besondere Schwierigkeiten im Rahmen der Effizienz- bzw. Produktivitätsuntersuchungen industrieller FE bereitet die Auswahl eines geeigneten Outputmaßes bzw. einer geeigneten Erfolgsgröße. Um ein derartiges Maß zu bestimmen, geht man zweckmäßigerweise von den Aufgaben industrieller FE aus. Diese wird eindeutig darin gesehen, den Stand des technischen Wissens zu erweitern. Funktion des planmäßigen Einsatzes von Produktionsfaktoren in FE ist also, den Wissensstand zu erhöhen. Die allgemeingültige und präzise Formulierung der Zusammenhänge von Faktoreinsatz und Faktorausbringung wirft aber besondere Schwierigkeiten auf. Diese resultieren zum einen aus der Individualität jedes Produktionsvorganges (FE ist kein repetitiver Prozeß im herkömmlichen Sinne), zum anderen auch aus der Unsicherheit über das Produktionsergebnis.³⁾ Nichtsdestoweniger bleibt die Notwendigkeit, den ursächlichen Zusammenhang von Input und Output in der FE-Abteilung zu analysieren. Ex ante wird eine Beurteilung von FE-Erfolgen nur unter Hinnahme be-

-
- 1) Vgl. Heuer, Georg: Wie läßt sich der Erfolg industrieller Forschung und Entwicklungsmethoden vorhersagen?, in: IO, Jg.45, 1976, S.73
 - 2) Vgl. Brose, Peter: Planung, Bewertung und Kontrolle technologischer Innovationen, Berlin 1982, S.416
 - 3) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.185; Bowie, Robert M.: The Direction and Control, of Research and Development, in: RM, Vol.6, 1963, S.283.

trächtlicher Schätzfehler möglich sein, ex post ist die Erfolgsermittlung auch von der geeigneten Bestimmung des Outputs abhängig. Technisches Wissen als Output von FE anzusehen, erscheint plausibel. Dieses Maß selbst wirkt aber wieder Probleme auf. Operationalisierungsschwierigkeiten erlauben nur Näherungslösungen, während eine wirtschaftliche Bewertung fast gänzlich unmöglich ist. Eine wohlseparierte Wirtschaftlichkeitsanalyse der FE-Tätigkeiten wird aber durch den residualen Charakter der aus ihnen resultierenden Erlöse verhindert.¹⁾

Dem Zwang zur Beurteilung industrieller FE als überragendes Instrument der Unternehmenssteuerung stehen also die eine Bewertung erschwerenden Charakteristika der FE gegenüber.

Vor diesem Hintergrund wurde der in dieser Arbeit vorgestellte Bewertungsansatz entwickelt, der aus der Kombination verschiedener Bausteine gewonnen wurde und nicht auf deterministischen, sondern statistischen Aussagen fußt.

Ausgehend von der Akzeptanz des Rentabilitätsstrebens als allgemeines Ziel eines Unternehmens, hat sich auch die FE-Abteilung dieser Zielsetzung unterzuordnen und, wie alle übrigen Unternehmensabteilungen auch, den größtmöglichen Beitrag zur Zielerreichung zu liefern. Der Erfolg industrieller FE ist nun aber nicht alleine eine Frage des Produktionsfaktoreinsatzes, vielmehr spielen auch weitere Aspekte, wie z.B. die Organisation, eine nicht unerhebliche Rolle. Ist nun der Erfolg abhängig von einer Vielzahl von Faktoren verschiedenster Dimensionen, so müssen diese auch in einer Effizienzanalyse betrachtet werden. Ein Verfahren zur Simultanbetrachtung der Wirkung verschiedenster Aspekte ist der Ansatz der Mustererkennung. In dessen Rahmen werden über eine ausreichende und repräsentative Anzahl von Unternehmen die Ausprägungen der für den Erfolg von FE-Abteilungen relevanten Faktoren erhoben und gesammelt. Diese Daten

1) Vgl. Hughes, E.C.: Evaluation of R+D, in: RM, Vol.10, 1967, S.359f; Machowetz, Josef: Zur Ermittlung des ökonomischen Nutzens von Vorhaben der Forschung und Entwicklung, in: Wirtschaftswissenschaft, 14.Jg., 1966, S.1937f.

dienen in einem weiteren Schritt der Aufdeckung typischer FE-Ausprägungen (FE-Musterklassen). Da deren Anzahl vor der Analyse nicht bekannt ist, wird zur Klassifikation die Clusteranalyse herangezogen. Sie kommt als Bestandteil eines Mustererkennungsprozesses in Frage, wenn die Klasseneinteilung vom System zu wählen ist.¹⁾ Sind typische Ausprägungen gefunden worden, muß anschließend der Rückschluß von den FE-Mustern auf ihren Erfolg im Sinne der Erfüllung der Unternehmensziele vorgenommen werden. Einen derartigen Schluß ermöglicht die Varianzanalyse. Sie erlaubt die Prüfung der Wirkung der als relevant erachteten Faktoren in ihrer kombinativen Wirkung auf die Erfolgsgröße. In diesem Sinne werden die FE-Muster als unabhängige und die Erfolgsgröße als abhängige Variable angesehen. Die Hypothese der Wirkung der Ausgestaltung der FE-Abteilung, repräsentiert in den FE-Musterklassen, auf die Erfolgsgröße wird mit Hilfe des F-Tests geprüft. Ihm liegt die Überlegung zugrunde, daß die Wirkung der unabhängigen Variablen nur die Varianz zwischen den Klassen beeinflusst, jede andere Einwirkung (z.B. Umwelteinflüsse) aber vor allem eine Fehlervarianz innerhalb der Klassen erzeugt. Weiterführende Tests erlauben auch die Ermittlung der FE-Musterklasse mit dem stärksten Einfluß auf die Erfolgsgröße. Als geeignetste Größe für die Messung der Erfolgsträchtigkeit wird die Rendite der Unternehmen angesehen, deren FE-Abteilungen auch in die Klassifikation eingehen.

Die Typisierung des Musters kann nun als Anhaltspunkt für die Effizienzbewertung neu zu untersuchender FE-Abteilungen herangezogen werden. Je nachdem, in welche Klasse die FE-Abteilung einzuordnen ist, können zumindest im Rahmen des Signifikanzniveaus Aussagen zur Effizienz der betrachteten FE-Abteilung getroffen werden.

1) Vgl. Mertens, Peter, a.a.O., S.783

5 2 Aussagekraft und Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse

Das hier vorgeschlagene Verfahren besitzt hinsichtlich verschiedener Aspekte Aussagekraft. Wie oben ausgeführt, kann es zunächst der Ermittlung der Effizienz einer FE-Abteilung dienen. Dazu müssen die Ausprägungen der die FE-Abteilungen charakterisierenden Merkmale erhoben werden. Die Durchführung der Klassifikation und der Varianzanalyse erfolgen zweckmäßigerweise unter Zuhilfenahme elektronischer Datenverarbeitungsanlagen.

Als Ergebnis erhalten wir die den jeweiligen Rentabilitätsausprägungen zugeordneten FE-Musterklassen, beschreibbar durch die Ausprägungen der sie charakterisierenden Merkmale. Je nachdem, welchem Muster eine neu untersuchte FE-Abteilung zugeordnet wird, läßt sich dann ein Rückschluß auf deren Rentabilitätswirkung ziehen.

Zusammen mit diesem Ergebnis gibt die multivariate Analyse Hinweise für optimale Gestaltungsmöglichkeiten der FE-Abteilung und trägt damit zur Erfüllung einer der wichtigsten Aufgaben der Forschung über die FE bei, nämlich unternehmenspolitischen Entscheidungen im FE-Bereich auf eine rationale Basis zu stellen.¹⁾ Die einzelnen Variablen zur Charakterisierung der FE-Abteilung können in einem FE-Kontrollsystem auch als Management-Aktionsparameter angesehen werden, welche je nach vorzufindender Situation in Richtung auf das Muster des Unternehmens mit erfolgreicher FE gestaltet werden können.

Zugleich werfen die Resultate auch Licht in das Dunkel verschiedener wissenschaftlicher Hypothesen über die industrielle FE. Beispielhaft sei auf die Diskussion zu dem Problemkreis Unternehmensgröße und FE-Effizienz hingewiesen. Ganz im Sinne der Schumpeter'schen Thesen von der Überlegenheit großer Unternehmen sieht Schätzle in Bezug auf die industrielle FE Größenvorteile durch Kostendegression, Möglichkeit zum Risikoausgleich und bessere in-

1) Vgl. Kortzfleisch, Gert von: Forschungen über die Forschung und Entwicklung, a.a.O., S.572

terne Verwertungsmöglichkeiten der FE-Ergebnisse.¹⁾ Cooper dagegen findet in empirischen Studien das Gegenteil bestätigt. Gemäß seinen Überlegungen sind kleine Unternehmen deswegen besonders bevorteilt, weil sie weniger Probleme und Kosten bei Fragen der Kommunikation und Koordination zu tragen haben.²⁾ Läßt sich eine der beiden Auffassungen bestätigen, so müssen in dem Cluster der erfolgreichen FE-Abteilungen besonders Unternehmen einer bestimmten Größenklasse zu finden sein. Gibt es eine Forschungsschwelle, so muß diese Klasse Unternehmen enthalten, deren FE-Aufwand zumindest einen kritischen Wert übersteigt. Aus den Daten des erhobenen Samples ergab sich keine Bestätigung der einen oder anderen These. Weder die Gruppe der erfolgreichen noch die der weniger erfolgreichen Unternehmen wiesen eine markante Abweichung der Gruppenmittelwerte vom Gesamtmittelwert aller im FE-Bereich Beschäftigten auf. In beiden Gruppen waren sowohl kleine als auch große FE-Bereiche vertreten, so daß bezüglich eventueller Größenvorteile innerhalb des FE-Bereichs auf Basis der untersuchten Unternehmen keine Aussage getroffen werden kann. Durchaus möglich ist aber, daß dieses Ergebnis bei einer Vergrößerung der Zahl der untersuchten Objekte relativiert werden muß. Auch in Bezug auf die anderen Aspekte, z.B. die FE-Organisation, lassen sich Ergebnisse erzielen, die im Hinblick auf die Erhellung der Black Box im FE-Bereich nützliche Anhaltspunkte liefern können.

Wie für das eigene Management, so ist es auch für unternehmensexterne Kauf- oder Beteiligungsinteressen von erheblichem Nutzen, dann ein Urteil über die Effizienz der FE abgeben zu können, wenn diese bei den Kauf- bzw. Beteiligungsüberlegungen eine erhebliche Rolle spielt.

Auch in anderer Hinsicht kann das Verfahren bei Unternehmensbewertungen nützliche Ergebnisse liefern, wenn der Wert eines Unternehmens z.B. nach der Übergewinnmethode ermittelt wird. Wird von den betrachteten Unternehmen ein Über-

1) Vgl. Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, a.a.O., S.167ff.

2) Vgl. Cooper, A.C., a.a.O., S.75.

gewinn erwirtschaftet, so errechnet sich ein solcher aus der Differenz von nachhaltig erzielbarem Gewinn und Normalgewinn, wobei letzterer die als normal angenommene Verzinsung des eingesetzten Kapitals repräsentiert.¹⁾ Hier nun ergibt sich mit Hilfe des vorgeschlagenen Verfahrens eine Möglichkeit, die potentielle Quelle des Übergewinns zu bestimmen. Angenommen, es werden zwei oder mehr in allen Aspekten ähnliche Unternehmen gemäß der Übergewinnmethode bewertet. Zeigt eines dieser Unternehmen einen höheren Übergewinn als die anderen und läßt sich die FE-Abteilung dieses Unternehmens im Gegensatz zu den FE-Abteilungen der übrigen Unternehmen in die Klasse der erfolgreichen Unternehmen einordnen, so kann bei sonst gleichen Verhältnissen darauf geschlossen werden, daß auch die FE-Abteilung zur Entstehung der Übergewinne beiträgt.

5 3 Aspekte des praktischen Einsatzes der Forschungs- und Entwicklungs-Effizienzanalyse

Alle wichtigen Teilschritte des Verfahrens können unter Verwendung standardisierter Computerprogramme durchgerechnet werden, ohne daß umfangreiche Programmierarbeit zu leisten wäre. Die für ein Analysesystem aufzubereitenden Inputdaten sollten grundsätzlich im Rahmen wirtschaftlicher Datengewinnungsmethoden zu erheben sein. Daher wurde zunächst ein erster Merkmalskatalog vorgestellt, der nur Kriterien enthält, die leicht zu extrahieren sind, trotzdem aber Anhaltspunkte geben können, in welcher Richtung die Aktionsparameter des FE-Managements zu verändern sind. Erst in der Klassifizierungsphase zeigt sich, ob diese Merkmale auch optimal im Hinblick auf eine gute Trennung der Objekte sind. Erfüllen sie diese Bedingungen nicht, können nicht-trennfähige Variable ausgeschlossen und neue Variablen über die oben erwähnten Verfahren zur Merkmalsgewinnung in die Analyse einbezogen werden. Die Sammlung aller aus einer

1) Bellinger, Bernhard und Günter Vahl: Unternehmensbewertung in Theorie und Praxis, Wiesbaden 1984, S.118f.

repräsentativen Stichprobe zu generierenden Daten führt aber dennoch zu einem solch großen Datenpool, daß die Analyse vorwiegend von über einzelnen Unternehmen stehenden Verbänden durchgeführt werden sollte. Da auch Anhaltspunkte für die Steuerung effizienter Technologiepolitik gewonnen werden können, ist auch an die Übernahme des Verfahrens von entsprechenden Beratungsunternehmen zu denken.

Ein weiterer Aspekt der durch die multivariate Betrachtungsweise stark gestiegenen Datenmenge ist die durch die Notwendigkeit der maschinellen Verarbeitung aufgeworfene Frage der effizienten Aufteilung der Aufgaben auf Mensch und Maschine. Die Entwicklungen der modernen Elektronik erlauben nicht nur die Übertragung rein mechanischer Prozesse an Maschinen. In der heutigen Zeit werden zunehmend Informations- und Kontrolltätigkeiten der Entscheidungsträger an Computer delegiert.¹⁾ Trotzdem ersetzt die Maschine nicht den Menschen: "Menschen können sehr komplexe Prozesse, geistige Prozesse, durchführen, ohne daß diese Prozesse völlig verstanden und ohne daß sie völlig definiert sind. Das trifft jedoch auf Computer nicht zu. Andererseits wieder können Computer Tätigkeiten, die für den Menschen sehr ermüdend sind, in sehr kurzer Zeit durchführen. Der Unterschied zwischen Mensch und Computer besteht weiter darin, daß die Menschen selbst Ordnungsmuster schaffen, während Computer sie nur erkennen können, wenn sie dazu programmiert sind. Aus allen diesen Erwägungen sieht man schon, daß Mensch und Computer symbiotisch sind und daß der eine den anderen nicht völlig ersetzen kann oder soll."²⁾

Der Mensch ist dann überfordert, wenn er die komplexen Informationsmuster im Interesse vorteilhafter Entscheidungen verarbeiten soll.³⁾ Während das menschliche Gehirn also bei der Verarbeitung der großen Informationsfülle überfordert ist, hat die Maschine eine große Informations-

1) Vgl. Pfaff, Martin: Experimentelle Untersuchungen zur Entscheidungstheorie: Ihre Bedeutung für die Gestaltung von automatischen Informations- und Kontrollsystemen, in: Brandstätter, Hermann und Bernhard Gahlen (Hrsg.): Entscheidungsforschung, Tübingen 1975, S.188

2) ebenda, S.207

3) Vgl. Felsen, Jerry, a.a.O., S.169

verarbeitungskapazität, die es ihr erlaubt, auch große Datenmengen routinemäßig mit großer Geschwindigkeit zu verarbeiten.

Dabei liefert der Computer aber nur das Ergebnis seiner quantitativen Analysen, letztendlich Entscheidender bleibt der Mensch. Er beurteilt die Resultate sowie deren Güte und Aussagekraft. Er ist es, der die eigentlichen Handlungsanweisungen gibt und mit der Auswahl von Merkmalskatalogen und Klassifikationsalgorithmen die Grundsteine des Verfahrens legt und damit auch die Lernfähigkeit des Systems bestimmt. Der Computer zeigt nur die Höhe des Risikos von Fehlentscheidungen; dieses Risiko in speziellen Situationen abwägen, kann er nicht. So lassen sich die subjektiven Urteilsfähigkeit und Kreativität des Menschen mit der großen Informationsverarbeitungskapazität und Fähigkeit zur Ausführung formaler Algorithmen der Maschine im Hinblick auf verbesserte Entscheidungsergebnisse verbinden.

Anhang I:

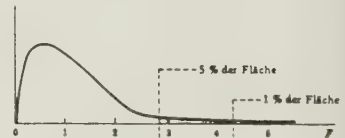
F-Werte-Tabelle (Ausschnitt)

df ₁	5 % (dünn) u. 1 % (fett)																								df ₂
	df, der größeren Varianz																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞	
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254	1
2	4,952	4,999	5,043	5,083	5,104	5,139	5,178	5,201	0,822	0,856	0,882	0,904	0,921	0,940	0,954	0,968	0,982	0,996	1,010	1,024	1,038	1,052	1,066	1,080	2
3	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,40	19,41	19,42	19,43	19,44	19,45	19,46	19,47	19,47	19,48	19,49	19,49	19,50	19,50	3
4	10,13	9,90	9,97	10,25	9,93	9,93	9,94	9,96	9,98	9,98	9,98	9,99	10,01	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	4
5	34,12	35,55	36,28	37,12	37,41	37,64	37,84	37,96	38,08	38,18	38,26	38,34	38,41	38,49	38,56	38,64	38,70	38,76	38,81	38,86	38,90	38,94	38,98	39,02	5
6	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,93	5,91	5,87	5,84	5,80	5,77	5,74	5,71	5,70	5,68	5,66	5,65	5,64	5,63	6
7	21,28	23,80	26,49	29,18	31,52	33,34	34,71	35,71	36,46	37,04	37,46	37,76	38,04	38,29	38,51	38,71	38,88	39,03	39,16	39,27	39,37	39,46	39,54	39,61	7
8	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,70	4,68	4,64	4,60	4,56	4,53	4,50	4,46	4,44	4,42	4,40	4,38	4,37	4,36	8
9	14,26	15,27	16,46	17,79	19,07	20,27	21,45	22,51	23,46	24,31	25,07	25,76	26,40	26,99	27,54	28,06	28,54	29,00	29,43	29,83	30,21	30,57	30,91	31,23	9
10	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,96	3,92	3,87	3,84	3,81	3,77	3,75	3,72	3,71	3,69	3,68	3,67	10
11	13,74	14,92	16,28	17,71	19,15	20,47	21,68	22,78	23,76	24,63	25,41	26,11	26,76	27,36	27,92	28,45	28,95	29,43	29,89	30,33	30,75	31,15	31,53	31,89	11
12	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57	3,52	3,49	3,44	3,41	3,38	3,34	3,32	3,29	3,28	3,25	3,24	3,23	12
13	12,25	13,55	14,95	16,41	17,84	19,19	20,46	21,66	22,74	23,72	24,61	25,41	26,11	26,76	27,36	27,92	28,45	28,95	29,43	29,89	30,33	30,75	31,15	31,53	13
14	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,31	3,28	3,23	3,20	3,15	3,12	3,08	3,05	3,03	3,00	2,98	2,96	2,94	2,93	14
15	11,24	12,65	14,19	15,76	17,21	18,52	19,76	20,94	22,07	23,15	24,18	25,16	26,09	26,97	27,81	28,61	29,37	30,10	30,80	31,48	32,14	32,78	33,40	33,99	15
16	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07	3,02	2,98	2,93	2,90	2,86	2,82	2,80	2,77	2,76	2,73	2,72	2,71	16
17	10,56	11,97	13,54	15,14	16,66	18,10	19,47	20,78	22,04	23,26	24,43	25,56	26,65	27,69	28,68	29,63	30,54	31,42	32,27	33,10	33,91	34,70	35,47	36,22	17
18	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94	2,91	2,86	2,82	2,77	2,74	2,70	2,67	2,64	2,61	2,59	2,56	2,55	2,54	18
19	10,04	11,45	13,04	14,64	16,16	17,61	19,00	20,34	21,63	22,88	24,09	25,26	26,39	27,48	28,53	29,54	30,51	31,45	32,36	33,25	34,12	34,97	35,80	36,61	19
20	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,82	2,79	2,74	2,70	2,65	2,61	2,57	2,53	2,50	2,47	2,45	2,42	2,41	2,40	20
21	9,65	11,06	12,65	14,25	15,77	17,22	18,61	19,95	21,25	22,51	23,73	24,91	26,06	27,18	28,26	29,31	30,33	31,32	32,29	33,24	34,17	35,08	35,97	36,84	21
22	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,72	2,69	2,64	2,60	2,54	2,50	2,46	2,42	2,40	2,36	2,35	2,32	2,31	2,30	22
23	9,33	10,74	12,33	13,93	15,45	16,91	18,32	19,68	21,00	22,28	23,52	24,72	25,89	27,03	28,14	29,22	30,27	31,29	32,28	33,25	34,20	35,13	36,04	36,93	23
24	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,63	2,60	2,55	2,51	2,46	2,42	2,38	2,34	2,32	2,28	2,26	2,24	2,22	2,21	24
25	9,07	10,48	12,07	13,67	15,19	16,65	18,07	19,45	20,79	22,09	23,35	24,58	25,77	26,93	28,06	29,16	30,23	31,27	32,28	33,26	34,22	35,16	36,08	36,98	25

df₁ ≙ Freiheitsgrade des Zählers

df₂ ≙ Freiheitsgrade des Nenners

Beispiel: Bei df₁ = 5 und df₂ = 12
 ist für α = 5% der F-Wert = 3,11
 ist für α = 1% der F-Wert = 5,06



Quelle: Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker, a.a.O., S.539

bogen

Zu welcher Branche der Industriegruppe Elektrotechnik ist Ihr Unternehmen zu zählen? (Zurechnung erfolgt, wenn mehr als 50 Prozent der Unternehmenstätigkeit auf eine bestimmte Branche entfällt.)

- | | |
|--|--------------------------|
| 1.1 Elektrische Energieumwandlung | ☐ |
| 1.2 Elektrische Schaltgeräte Kabel und Leitungen | ☐ |
| 1.3 Elektrische Installation und Haushaltsgeräte | ☐ |
| 1.4 Elektrische Beleuchtung | ☐ |
| 1.5 Unterhaltungselektronik | ☐ |
| 1.6 Elektrische Nachrichtentechnik | ☐ |
| 1.7 Elektrische Meß-, Regelungs- und Steuertechnik
(Meß- und Automatisierungstechnik) | ☐ |
| 1.8 Elektronische Bauelemente und Baugruppen | ☐ |
| 1.9 Geräte zur Materialbehandlung durch Elektroerzeugnisse | ☐ |
| 1.10 Geräte zur Datenverarbeitung | ☐ |
| 1.11 Vor- und Fertigerzeugnisse für die Elektrotechnik | ☐ |
| 1.12 Elektrische Ausrüstungen für Sondergebiete (Medizin, Forschung, etc.) | ☐ |

Wieviele Beschäftigte weist der FE-Bereich Ihres Unternehmens auf?

.....

Wie hoch ist der Anteil von Akademikern (Hoch- und Fachhochschulabsolventen) an allen im FE-Bereich Beschäftigten?

..... %

Wie hoch beläuft sich der Anteil des Aufwandes für FE am Umsatz in Ihrem Unternehmen?

..... %

Wie verteilt sich anteilsmäßig der gesamte FE-Aufwand auf die einzelnen FE-Stufen?

- | | |
|--|---------|
| 5.1 Grundlagenforschung
(= Forschung ohne exakte Zielbindung zum Auffinden
von Theorien allgemeiner Art | % |
| 5.2 Angewandte Forschung
(= Zielgebundene Forschungstätigkeit für wirtschaft-
liche Anwendungszwecke) | % |
| 5.3 Entwicklung
(= Abstimmung der Ergebnisse von Grundlagen- und An-
gewandter Forschung auf produktions- und absatz-
wirtschaftliche Verhältnisse) | % |

Wonach richtet sich in Ihrem Unternehmen die Höhe der jährlichen FE-Aufwendungen? (Hauptkriterium bitte ankreuzen.)

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 6.1 Umsatz Vorjahr | ☐ |
| 6.2 Erwarteter Umsatz | ☐ |

- 6.3 Gewinn Vorjahr ☐
- 6.4 Erwarteter Gewinn ☐
- 6.5 FE-Aufwand Vorjahr ☐
- 6.6 FE-Aufwand Konkurrenz ☐
- 6.7 Notwendiger Aufwand zum Erhalt der FE-Kapazität ☐
- 6.8 Sonstiges (bitte angeben):

7. Geben Sie bitte die durchschnittliche Amortisationsdauer der FE-Aufwendungen Ihres Unternehmens an:

8. Welche durchschnittliche Erfolgswahrscheinlichkeit für ein FE-Projekt wird in Ihrem Unternehmen gefordert, bevor es in Angriff genommen wird?

9. Wie verteilt sich der gesamte FE-Aufwand Ihres Unternehmens auf Personal- und Sachaufwand?
 (z.B. 60 % Personal- und 40 % Sachaufwand)
 Personalaufwand:.....%, Sachaufwand:.....%

10. Wie verteilen sich die gesamten FE-Anstrengungen Ihres Unternehmens auf Produkt-FE und Verfahrens-FE,
 10.1 Produkt-FE:.....%, Verfahrens-FE:.....%

auf kurzfristige (Projektlaufzeit kürzer als 1 Jahr), mittelfristige (1 bis 4 Jahre) und langfristige (länger als 4 Jahre) Projekte,

10.2 kurzfristige:.....%, mittelfristige:.....%, langfristige:.....%
 auf die einzelnen FE-Formen?

10.3 Unternehmensinterne FE
 (= FE in unternehmenseigenen Einrichtungen)

Gemeinschaftsforschung
 (= FE von zwei oder mehr FE-Partnern in einem Forschungsverbund)

Vertragsforschung
 (= Vergabe von FE-Aufgaben an Dritte, z.B. Universitäten)

Auftragsforschung
 (= FE für Dritte)

11. Welchem Organisationstyp kommt die interne Organisation Ihres FE-Bereichs am nächsten?

Gliederungstypen:

11.1  Sachgebiete bzw. wissenschaftliche Disziplinen ☐

11.2  Produktgruppen ☐

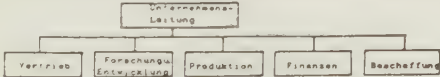
11.3  Prozesstypen ☐

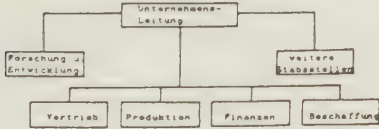
11.4  Produkt- oder Verfahrensforschung ☐

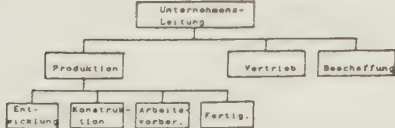
11.5  FE-Stufen ☐

11.6  Projekte ☐

12. Welche Form der Eingliederung des FE-Bereichs in die Unternehmensorganisation kommt den Verhältnissen in Ihrem Unternehmen am nächsten?

12.1  Eingliederung als Hauptabteilung ☐

12.2  Eingliederung als Stabsabteilung ☐

12.3  Eingliederung als Unterabteilung ☐

13. Bestehen Kontakte zu unternehmens-externen Institutionen wie Universitäten oder Technischen Vereinigungen?

13.1 nicht ☐
 13.2 selten (bis zu 5 mal jährlich) ☐
 13.3 regelmäßig (6-12 mal jährlich) ☐
 13.4 häufig (mehr als 12 mal jährlich) ☐

14. Bestehen institutionale Kontakte zu anderen Unternehmensabteilungen wie Produktions- oder Marketing-Abteilung?

- 14.1 nicht ☐
- 14.2 selten (bis zu 5 mal jährlich) ☐
- 14.3 regelmäßig (6-12 mal jährlich) ☐
- 14.4 häufig (mehr als 12 mal jährlich) ☐

15. Welchen Anteil der gesamten Arbeitszeit verwendet das FE-Personal im Durchschnitt für Dokumentation und Berichterstattung?

..... %

16. Erfolgt eine systematische Speicherung der FE-Ergebnisse zur effizienten Nutzung der Ergebnisse und Vermeidung von Parallelarbeit?

ja ☐
nein ☐

17. Woher stammen die Anregungen für FE-Projekte in der Mehrzahl?

17.1 Nachfrage-Seite
(= Anregung von außerhalb des FE-Bereichs, z.B. Markt, Produktion, Management) ☐

17.2 Anbieter-Seite
(= Anregung von intern im FE-Bereich Beschäftigten) ☐

18. Werden für das FE-Personal interne oder externe Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen durchgeführt?

- 18.1 nicht ☐
- 18.2 selten (bis zu 5 mal jährlich) ☐
- 18.3 regelmäßig (6-12 mal jährlich) ☐
- 18.4 häufig (mehr als 12 mal jährlich) ☐

19. Wie hoch ist das Durchschnittsalter aller im FE-Bereich Beschäftigten?

.....Jahre

20. Besteht innerhalb der normalen Arbeitszeit für die im FE-Bereich Beschäftigten die Möglichkeit, auch eigenen Projekten nachzugehen?

ja ☐
nein ☐

21. Bestehen neben dem Gehalt und den üblichen variablen Zusatzzahlungen für die erfolgreiche Durchführung von FE-Projekten Leistungsanreize über weitere besondere monetäre oder nicht-monetäre Entgelte?

ja ☐
nein ☐

. Wie hoch war in Ihrem Unternehmen die Rendite des betrieblich eingesetzten Gesamtkapitals?

22.1	im letzten Jahr	 %
22.2	im Durchschnitt der letzten 3 Jahre	 %

ordentliches Betriebsergebnis vor Steuern und Zinsen (ohne: außerordentliche Erträge oder Aufwendungen u. Ergebnisveränderungen aus

Beteiligungen,
Finanzanlagen,
Verlustübernahme,
Gewinnabführungsverträge,
Gewinngemeinschaften u. ähnlichem)

Rendite des betrieblichen Gesamtkapitals = $\frac{\text{Gesamtkapital} (\hat{=} \text{Bilanzsumme} \text{ ./.)}}{\text{ausstehende Einlagen, Wertberichtigungen, Bilanzverlust, Finanzanlagen u. nichtbetriebsnotwendiges Vermögen}}$

Anhang III

Variablenliste

metrisch ausgeprägt: .

1. Anzahl der Beschäftigten im FE-Bereich
2. Anteil von Akademikern an allen im FE-Bereich Beschäftigten
3. Anteil des FE-Aufwandes am Umsatz
4. Anteil der Grundlagenforschung am FE-Aufwand
5. Anteil der Angewandten Forschung am FE-Aufwand
6. Anteil der Entwicklung am FE-Aufwand
7. Durchschnittliche Amortisationsdauer der FE-Aufwendungen
8. Durchschnittliche Erfolgswahrscheinlichkeit eines FE-Projektes vor Inangriffnahme
9. Anteil Personalaufwand am FE-Aufwand
10. Anteil Aufwand für Produkt-FE am FE-Aufwand
11. Anteil kurzfristiger FE am FE-Aufwand
12. Anteil mittelfristiger FE am FE-Aufwand
13. Anteil langfristiger FE am FE-Aufwand
14. Anteil unternehmensinterner FE am FE-Aufwand
15. Anteil Gemeinschaftsforschung am FE-Aufwand
16. Anteil Vertragsforschung am FE-Aufwand
17. Anteil Auftragsforschung am FE-Aufwand
18. Anteil der Arbeitszeit für Dokumentation und Berichterstattung
19. Durchschnittsalter aller im FE-Bereich Beschäftigten

binär ausgeprägt:

20. Kriterium zur Festlegung des jährlichen FE-Aufwandes:
 - Umsatz Vorjahr
21. Erwarteter Umsatz
22. Erwarteter Gewinn
23. Notwendiger Aufwand für Erhalt
FE-Kapazität
24. Sonstige Kriterien
25. Interne Organisation des FE-Bereichs: Sachgebiete
26. Produktgruppen

- 27. Produkt- oder Verfahrensforschung
- 28. FE-Stufen
- 29. Projekte
- 30. Eingliederung des FE-Bereiches: Hauptabteilung
- 31. Unterabteilung
- 32. Externe Kontakte: Selten
- 33. Regelmäßig
- 34. Häufig
- 35. Interne Kontakte: Regelmäßig
- 36. Häufig
- 37. Systematische Speicherung der FE-Ergebnisse
- 38. Anregungen für FE-Projekte: Nachfrage-Seite
- 39. Anbieter-Seite
- 40. Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen: Selten
- 41. Regelmäßig
- 42. Häufig
- 43. Eigene Projekte der FE-Beschäftigten
- 44. Anreize über besondere Entgelte

Anhang IV 1

KORRELATION COEFFICIENTS...

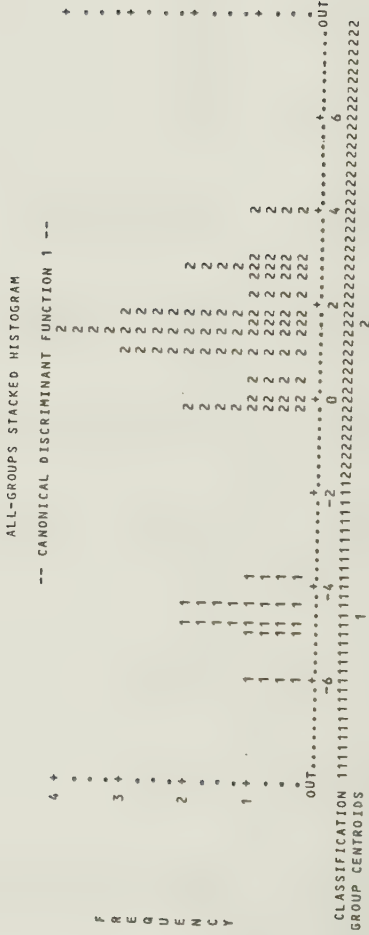
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
1.00000	0.16321	0.30309	-0.03455	-0.30058	0.26315	0.17205	0.03963	-0.18690	0.06945
0.16321	1.00000	0.17563	0.07811	-0.01897	0.13860	0.49361	-0.03963	-0.38571	0.46338
0.30309	0.17563	1.00000	-0.02199	0.18075	0.18075	0.37290	-0.16666	-0.27151	0.37023
-0.03455	0.07811	-0.02199	1.00000	0.28564	-0.57351	-0.11321	-0.24653	-0.22509	-0.19953
-0.30058	-0.02199	0.18075	0.28564	1.00000	-0.85539	0.25256	-0.38284	-0.08009	-0.23093
0.26315	0.18075	-0.57351	-0.85539	-0.85539	1.00000	0.01273	0.23941	0.00725	0.30973
0.17563	0.37290	0.37290	-0.11321	0.25256	-0.01273	1.00000	0.23941	-0.00732	0.30973
0.03963	0.49361	0.22633	-0.38284	0.08009	0.00725	-0.41974	-0.27867	-0.41974	0.41667
-0.18690	-0.38571	-0.27151	-0.22633	-0.08009	0.00725	-0.41974	-0.27867	-0.41974	0.41667
0.06945	0.46338	0.37023	-0.19953	-0.23093	0.36973	0.51262	0.03628	0.26328	1.00000
-0.01724	-0.07874	-0.25475	-0.28438	-0.03429	-0.14599	-0.35634	-0.46167	-0.25096	-0.27188
0.10316	0.14555	0.16567	-0.18380	0.03174	0.13668	0.26554	-0.48542	0.16544	0.36621
-0.15743	0.19591	0.21287	0.39839	0.32291	-0.35449	0.16074	-0.15042	-0.13267	-0.14028
0.06003	-0.28611	0.01564	-0.45901	0.17926	0.03111	0.02742	-0.01181	-0.43865	-0.28834
-0.28438	0.16567	-0.18380	0.50402	0.00852	-0.16041	0.00609	-0.15659	-0.41076	-0.00358
-0.03429	-0.14555	0.32291	0.54626	-0.21385	0.05527	-0.19295	-0.37294	-0.11956	0.20115
-0.14599	-0.03174	0.17926	0.38262	0.21385	-0.33081	0.19295	-0.37294	-0.08763	-0.05632
0.05739	0.13668	-0.35449	0.38262	0.21385	-0.33081	0.19295	-0.37294	-0.08763	-0.05632
-0.35634	0.26554	0.16074	-0.07612	-0.02432	-0.00609	0.33861	-0.42225	0.61614	-0.33541
-0.38625	0.46542	-0.15062	-0.01181	-0.08017	-0.15659	-0.17594	-0.42225	-0.32831	-0.28831
0.25096	-0.16544	0.15267	0.43865	-0.41076	-0.19566	0.08763	-0.42225	-0.32831	-0.28831
-0.27188	0.36821	-0.18028	-0.28834	-0.00358	0.20115	-0.05432	-0.41614	-0.16164	-0.22509
1.00000	-0.84935	-0.28830	-0.18312	-0.31637	-0.08905	-0.13382	-0.22859	-0.33541	0.31909
-0.84935	1.00000	-0.28830	-0.18312	-0.31637	-0.08905	-0.13382	-0.22859	-0.33541	0.31909
-0.28830	-0.28830	1.00000	-0.10598	-0.24824	-0.01458	-0.08478	-0.26899	-0.26899	-0.26899
-0.18312	-0.10598	-0.24824	1.00000	-0.45136	-0.45136	-0.36680	-0.19279	-0.13692	-0.22414
-0.31637	-0.24824	0.24824	-0.45136	1.00000	0.20303	0.20097	0.24965	0.13692	0.08564
-0.08905	0.09629	-0.01458	-0.45136	0.20303	1.00000	0.13241	0.13212	0.08564	0.21018
-0.13682	-0.08835	-0.08478	-0.36680	-0.20097	0.13241	1.00000	0.13030	0.21018	0.08564
-0.22897	0.01631	0.38556	-0.19279	0.24965	0.13212	-0.15330	1.00000	-0.46205	1.00000
0.31909	-0.26899	-0.08685	0.13692	-0.22410	0.08564	0.21018	-0.46205	1.00000	1.00000

Korrelationsmatrix für 19 metrisch-ausgeprägte Merkmale

PERCENTAGE OCCURRENCE FOR BINARY VARIABLES

13	85.7	22	71.4	20	67.9	21	64.3	9	53.6	28	50.0	25	46.4	17	42.9	27	39.3	6	32.1
24	32.1	2	32.1	23	29.6	15	28.6	19	28.6	16	28.6	26	21.4	8	14.3	7	14.3	10	14.3
14	14.3	11	10.7	12	7.1	1	7.1	4	7.1	3	3.6	5	3.6	18	3.6				

Prozentuale Häufigkeiten von 28 binären Merkmalen



Streudiagramm der stufenweisen Diskriminanzanalyse

LITERATURVERZEICHNIS

- Agbodan, Michel: Forschungsgesinnung und Forschungspolitik, in: ZfB, 42.Jg., 1972, S.129-138
- Albach, Horst: Zur Theorie des wachsenden Unternehmens, in: Krelle, Wilhelm (Hrsg.): Theorien des einzelwirtschaftlichen und des gesamtwirtschaftlichen Wachstums, Berlin 1965, S.9-97
- ders.: Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1959
- ders.: Forschung und Wachstum, in: Die Aussprache, Jg.15, 1965, S.154ff.
- ders.: Der Einfluß von Forschung und Entwicklung auf das Unternehmenswachstum, in: Luketaloudellinen Aikakauskirja, Bd.13, 1965, S.111-140
- Alter, U.; Geschka, H.; Schwerdtner, H.G.: Effiziente Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in industrielle Nutzung, in: Rationalisierung, 25.Jg., 1974, S.87-88 u. 97-100
- Andrews, Frank M.: Scientific Performance as Related to Time Spent on Technical Work, Teaching, or Administration, in: ASQ, Vol.9, 1964/65, S.182-193
- ders.: Creative Ability, The Laboratory Environment, and Scientific Performance, in: IEEE, Vol.EM-14, 1967, S.76-83
- Ansoff, Igor H. and John M. Stewart: Strategies for a technology - based business, in: HBR, Vol.45, H.G., 1967, S.71-83
- Arbeitskreis Hax der Schmalenbach-Gesellschaft: Forschung und Entwicklung als Gegenstand unternehmerischer Entscheidungen in: ZfbF, 20.Jg., 1968, S.549-580
- Arrow, Kenneth J.: The Economic Implications of Learning by Doing, in: The Review, of Economic Studies, Vol.29, 1962, S.155-173
- Ashley, William F. und Milton T. Austin: Case Studies in Network Planning, Scheduling and Control of Research and Development Projects, in: Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, a.a.O., S.264-285
- Augood, Derek R.: A Review of R + D Evaluation Methods, in: IEEE, Vol.EM-20, 1973, S.114-120
- Baetge, Jörg: Früherkennung negativer Entwicklungen der zu prüfenden Unternehmung mit Hilfe von Kennzahlen, in: Die Wirtschaftsprüfung, 33.Jg., 1980, S.651-665

- Baker, Norman R.: R + D Project Selection Models: An Assessment, in: IEEE, Vol.EM-21, 1974, S.165-171
- Baker, Norman R. und James Freeland: Recent Advances in R + D Benefit Measurement and Project Selection Methods, in: MS, Vol.21, 1975, S.1164-1175
- Baker, Norman R. und W.H. Pound: R + D-Project-Selection: Where We Stand, in: IEEE, Vol.EM-11, 1964, S.123-134
- Balderston, Jack: A Performance and Salary Review System for Scientists, in: RM, Vol.8, 1964, S.209-224
- Bardy, Roland: Die Produktivität von Forschung und Entwicklung, Meisenheim am Glan 1974
- Baumann, K.: Die Anwendung nutzwertanalytischer Methoden in der Praxis, Diss. Bern 1979
- Bechmann, A.: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, Bern-Stuttgart 1978
- Beckurts, Karl-Heinz: Forschungs- und Entwicklungsmanagement-Mittel zur Gestaltung der Innovation, in: Blohm, Hans und Günter Danert (Hrsg.), a.a.O., S.15-39
- Beermann, Klaus: Prognosemöglichkeiten von Kapitalverlusten mit Hilfe von Jahresabschlüssen, Düsseldorf 1976
- Bellinger, Bernhard und Günter Kahl: Unternehmensbewertung in Theorie und Praxis, Wiesbaden 1984
- Bergs, Siegfried: Optimalität bei Clusteranalysen, Diss. Münster 1981
- Berthold, Klaus: Die Grundlagenforschung industrieller Großunternehmen in der Bundesrepublik Deutschland, Berlin 1969
- Beutel, Peter und Werner Schubö: SPSS 9 Statistik-Programmsystem für die Sozialwissenschaften, Stuttgart-New York 1983
- Bidlingsmeier, Johannes: Unternehmerziele und Unternehmerstrategien, Wiesbaden 1973
- Bieg, Helmut: Kann der Bankenprüfer die Bonität gewerblicher Bankkreditnehmer beurteilen?, in: ZfbF, 36.Jg., 1984, S.495-512
- Birnbaum, Philip H.: Assessment of Alternative Management Forms in Academic Interdisciplinary Research Projects in: MS, Vol.24, 1977, S.272-284
- Blake, Stewart B.: Forschung, Entwicklung und Management, München 1969
- Bleicher, Knut: Innovation, in: HWProd, Sp.800-814

- Blohm, Hans und Günter Danert (Hrsg.): Forschungs- und Entwicklungsmanagement, Stuttgart 1983
- Blood, Jerome W. (Hrsg.): The Management of Scientific Talent, New York 1963
- Bock, Hans Herrmann: Automatische Klassifikation, Göttingen 1974
- Bölkow, Ludwig: Forschung, Entwicklung und Wachstumsstrategie, in: Wirtschaftlichkeit, Jg.II, 1968, S.112-119
- ders.: Finden und Durchführen von Großprojekten der Forschung und Entwicklung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.573-589
- Böning, Dieter-Jobst: Bestimmungsfaktoren der Intensität industrieller Forschung und Entwicklung, Diss. Göttingen, 1969
- Booz, Allen and Hamilton Management Consultants: Management of New Products, 3.Aufl., New York 1960
- Bowen, D.C.; R. Perloff; J. Jacoby: Improving Manuscript Evaluation Procedures, in: American Psychologist, 1972, S.221-225
- Bowie, Robert M.: The Direction and Control of Research and Development, in: RM, Vol.6, 1963, S.277-288
- Box, G.E.P.: Nonnormality and Test on Variances, in: Biometrika, Vol.40, 1953, S.318-335
- ders.: Some Theorems on Quadratic Forms Applied in the Study of Analysis of Variance Problems, in: The Annals of Mathematical Statistics, Vol.25, 1954, S.290-302 und S.484-498
- Brankamp, Klaus: Innovationspraxis: Neue Aufgaben für die Unternehmensberatung, in: Staudt, Erich (Hrsg.), a.a.O., S.112-130
- Bright, James R. (Hrsg.): Technological Planning on the Corporate Level, Boston 1962
- Brockhoff, Klaus: Technischer Fortschritt, Überblick, in: HdWW, S.567-569
- ders.: Technischer Fortschritt II: im Betrieb, in: HdWW, S.583-609
- ders.: Forschung und Entwicklung, Programmplanung für die, in: HWPProd, Sp.652-671
- ders.: Forschung und Entwicklung, Planung u. Organisation von, in: HWB, Sp.1530-1542
- ders.: Forschungsaufwendungen industrieller Unternehmen, in: ZfB, 34,Jg., 1964, S.327-348

ders.: Zur Quantifizierung der Produktivität industrieller Forschung durch die Schätzung einer einzelwirtschaftlichen Produktionsfunktion - Erste Ergebnisse, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Bd.184, 1970, S.248-276

ders.: Zur Erfassung der Ungewißheit bei der Planung von Forschungsprojekten, in: Hax, Herbert (Hrsg.): Entscheidung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1970, S.159-188

ders.: Ein Ansatz zur Abschätzung des Forschungserfolges, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.709-723

ders.: Forschungsprojekte und Forschungsprogramme: Ihre Bewertung und Auswahl, Wiesbaden 1973

ders.: Scoring-Modelle in der Forschungsplanung, in: ZfbF-Kontaktstudium 28, 1976, S.205-212

ders.: Prognoseverfahren für die Unternehmensplanung, Wiesbaden 1977

ders.: Delphi-Prognosen im Computer-Dialog, Tübingen 1979

ders.: Wachstumsschwellen und Forschungsschwellen, in: ZfB, 50.Jg., 1980, S.475-499

ders.: Die Produktinnovationsrate im Lagebericht, in: DB, 34.Jg., 1981, S.433-437

ders.: Controlling in Forschung und Entwicklung der Unternehmen, in: ZfbF, 36.Jg., 1984, S.608-618

ders.: Technologischer Wandel und Unternehmenspolitik, in: ZfbF, 36.Jg., 1984, S.619-635

ders.: Die Produktinnovationsrate als Instrument der strategischen Unternehmensplanung, in: ZfB, 55.Jg., 1985, S.451-476

Broschwitz, Johannes: Forschung und Entwicklung als Rentabilitäts- und Konzentrationsdeterminante, in: DB, 21.Jg., 1968, S.1913-1918

Brose, Peter: Planung, Bewertung und Kontrolle technologischer Innovationen, Berlin 1982

Brozen, Y.: The Future of Industrial Research, in: JoB, Vol.34, 1961, S.434-441

Bruggmann, Max: Betriebswirtschaftliche Probleme der industriellen Forschung, Winterthur 1957

Bulling, H.: Entscheidungshilfen der Diskriminanzanalyse bei der Gewährung von Konsumentenkrediten und gewerblichen Krediten, Diss. Berlin 1976

Bund, Karlheinz: Die Parallelarbeit im Rahmen industrieller Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, Diss. Berlin 1962

- Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.): Beiträge zur Messung von Forschungsleistung, Bonn 1975
- Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.): Die Messung wissenschaftlicher und technischer Tätigkeiten, Frascati-Handbuch 1980, Bonn 1982
- ders.: Bundesbericht Forschung VI, Bonn 1979
- Cetron, Marvin J. und Joel D. Goldhar (Hrsg.): The Science of Managing Organized Technology, New York-London-Paris 1970
- Cetron, M.J., J. Martino und L. Roepcke: The Selection of R + D Program Content - Survey of Quantitative Methods in: IEEE, Vol.EM 14, 1967, S.4-13
- Chaney, F.B.: A Cross - Cultural Study of Industrial Research Performance, in: JAP, Vol.50, 1966, S.206-210
- Chorafas, D.N.: Die Aufgaben der Forschung in der modernen Unternehmung, München-Wien 1963
- Coenen, Reinhard und Lothar Czayka: Beschreibung und Diskussion einiger typischer Verfahren zur Bewertung forschungspolitischer Alternativen, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.78-96
- Cole, S.; J.R. Cole; G.A. Simon: Chance and Consensus in Peer Review, in: Science, Vol.214, 1981, S.881-886
- Collinson, H.A.: Industrielle Forschung und Entwicklung richtig organisieren, München 1964
- Comanor, William S. und F.M. Scherer: Patent Statistics as a Measure of Technical Change, in: JPE, Vol.77, 1969, S.392-398
- Cooper, A.C.: R + D is More Efficient in Small Companies, in: HBR, Vol.42, H.3, 1964, S.75ff.
- Cooper, R.G.: The Dimensions of Industrial New Product Success and Failure, in: Journal of Marketing, Vol.43, 1979, S.93-103
- Croxton, F.C.: New Techniques for Increased Research Productivity, in: Institution of Chemical Engineers (Hrsg.): Proceedings of the Symposium on Productivity in Research, London 1964, S.8ff.
- Czayka, Lothar: Die Netzplantechnik als Instrument der Planung und Kontrolle von FE-Projekten, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.211-224
- ders.: Prinzipielle Probleme der Bewertung forschungspolitischer Alternativen, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.59-77

- Dalkey, N.C.; O. Helmer: An Experimental Application of the Delphi-Method to the Use of Experts, in: MS, Vol.9, 1963, S.458-464
- Dathe, H.M.: Moderne Projektplanung in Technik und Wissenschaft, München.1971
- Day, C.A.: Developing Research Objectives, in: Blood, Jerome W. (Hrsg.), a.a.O., S.43-52
- Deakin, E.B.: A Discriminant Analysis of Predictors of Business Failure, in: Journal of Accounting Research, Vol.10, 1972, S.167-179
- Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, New York-London 1963
- Dean, Burton V.: A Research Laboratory Performance Model, in: IEEE, Vol.EM-14, 1967, S.44-46
- Dean, Burton V. und M.J. Nishry: Scoring and Profitability Models for Evaluating and Selecting Engineering Projects, in: Operations Research, Vol.13, No.4, 1965, S.550-569
- Denison, Edward F.: Erkenntnisfortschritte und ihre Anwendung in der Produktion, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.187-211
- Disman, S.: Selecting R + D Projects for Profit, in: Chemical Engineering, Vol.69, 1962, S.87-90
- Dornis, Peter: Die Bewertung von Projekten der Forschung und Entwicklung, in: BFuP, 21.Jg., 1969, S.281-301
- Dreyer, Arend: Scoring-Modelle bei Mehrfachzielsetzungen, in: ZfB, 1974, S.255-274
- Drygas, Hilmar: Kostenschätzungen bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.119-124
- Dubach, Paul: Ein Modell für höhere Effizienz in Forschung und Entwicklung, in: IO, 46.Jg, 1977, S.483-487
- Dürrhammer, W.: Forschung und Entwicklung als Aufgabe der Unternehmensführung, Bericht über die Arbeitstagung der Schmalenbach Gesellschaft, in: ZfB, 42.Jg., 1972, S.513-516
- Eckenrode, Robert T.: Weighting Multiple Criteria, in: MS, Vol.12, 1965, S.180-192
- Edmister, R.O.: An Empirical Test of Financial Ratio Analysis for Small Business Failure Prediction, in: Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1972, S.1477-1493

- Edwards, Shirley A. und Michael W. Mc Carrey: Measuring the Performance of Researchers, in: RM, Vol.17, 1973, S.34-41
- Engles, E.F.: Evaluating a Company's Research Program, in: RM, Vol.10, 1967, S.147-156
- Erlen, Hubertus: Kostenprognose für F + E -Projekte, München 1972
- Eucken, Walter: Die Grundlagen der Nationalökonomie, 8.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York, 1965
- Evan, William M.: Superior - Subordinate Conflict in Research Organizations, in: ASQ, Vol.10, 1965, S.52-64
- ders.: Conflict and Performance in R + D -Organizations: Some Preliminary Findings, in: Industrial Management Review, Vol.7, 1965, S.37-46
- Farris, G.F.: Organizational Factors and Individual Performance: A Longitudinal Study, in: JAP, Vol.53, 1969, S.87-92
- Felsen, Jerry: A Man - Machine Investment Decision System, in: International Journal of Man - Machine Studies, Vol.8, 1976, S.169-193
- Fenneberg, Günter: Kosten u. Terminabweichungen im Entwicklungsbereich, Kiel 1979
- Feulner, Waldemar: Moderne Verfahren bei der Kreditwürdigkeitsprüfung im Konsumentenkreditgeschäft, Frankfurt 1980
- Fischer, Jürgen H.: Computergestützte Analyse der Kreditwürdigkeit auf Basis der Mustererkennung, Düsseldorf 1981
- Fischer, Thomas: Inventionsprozesse und Unternehmensentwicklung, Freiburg i. Br. 1982
- Fogler, Russel H.: A Pattern Recognition Model for Forecasting, in: MS, Vol.20, 1974, S.1178-1189
- Freedman, Paul: The Principles of Scientific Research, 2.Aufl., Oxford-London-New York-Paris 1960
- Freeman, Christopher: Measurement of Output of Research and Development, Statistical Reports and Studies, No.16, Review Paper, Unesco, Geneva 1969
- Freeman, Raoul J.: Quantitative Methods in R + D Management, in: California Management Review, Vol.2, 1960, S.36-44
- ders.: The Basic Resources of Research, in: RM, Vol.3, 1960, S.13-25
- Freudenmann, Helmut: Planung neuer Produkte, Stuttgart 1965

- Friedlander, F.: Performance Orientation of Research Scientists, Unpublished Paper, Case Western Reserve University 1970
- Fröhlich, Werner D. und Johannes Becker: Forschungsstatistik, 6.Aufl., Bonn 1972
- Fuhrmann, Ernst: Leitlinien und Erfolgskriterien für die technische Forschung und Entwicklung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.590-597
- Fujimura, Toshikazu: Control System and Indices for Management of Research, in: RM, Vol.5, 1962, S.439-449
- Gäfen, Gérard: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 3.Aufl., Tübingen 1974
- Gander, Karl Friedrich: So steigern wir den Forschungs- u. Entwicklungserfolg, in: IO, 48.Jg., 1979, S.171-173
- Gargiulo, G.R., J. Hannoch, D.B. Hertz, T. Zang: Developing Systematic Procedures for Directing Research Programs, in: IRE, Vol.EM-8, 1961, S.24-29
- Gasser, Christian: Die Integration von Forschung und Entwicklung als Aufgabe der Unternehmensführung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.598-606
- Gebhardt, Guenther: Insolvenzprognosen aus aktienrechtlichen Jahresabschlüssen, Wiesbaden 1980
- Gee, R.E.: The Opportunity Criterion - A New Approach to the Evaluation of R + D, in: RM, Vol.15, 1975, S.64-71
- Gelsema, Edzard S. und Laveen N. Kanal (Hrsg.): Pattern Recognition in Practice, Amsterdam-New York-Oxford 1980
- Gerstenfeld, Arthur: Technical Interaction among Engineers and its Relation to Performance, Diss. Massachusetts Institute of Technology 1967
- ders.: Effective Management of Research and Development, Reading, Mass.1970
- ders.: A Study of Successful Projects, Unsuccessful Projects, and Projects in Process in West-Germany, in: IEEE, Vol.EM-23, 1976, S.116-123
- Geschäftsbericht der Siemens AG 1984
- Geschäftsbericht der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken 1983
- Geschka, H.: Forschung und Entwicklung als Gegenstand betrieblicher Entscheidungen, Meisenheim am Glan 1970
- Gilfillan, Colum S.: The Prediction of Technical Change, in: RES, Vol.34, 1952, S.368-385
- Glaser, W.R.: Varianzanalyse, Stuttgart-New York 1978

- Goodwin, P.G.: A Method for Evaluation of Subsystems Alternate Designs, in: IEEE, Vol.EM-19, 1972, S.12-21
- Gordon, G. und S. Marquis: Freedom, Visibility of Consequences and Scientific Innovation, in: American Journal of Sociology, Vol.72, 1966, S.195-202
- Grabowski, H.: The Determinants of Industrial Research and Development, Diss. Princeton 1966
- Graselli, Antonio: On the Automatic Classification of Fingerprints, in: Watanabe, Satoshi (Hrsg.), a.a.O., S.253-259
- Grefermann, Klaus; Karl Heinrich Oppenländer, Elfried Peffgen, Karl Ch. Rothingshöfer, Lothar Scholz: Patentwesen und technischer Fortschritt, Teil I: Die Wirkung des Patentwesens im Innovationsprozeß, Göttingen 1974
- Gresser, Klaus: Methodische Ansätze zur Lösung des Problems der optimalen Verteilung von Ressourcen auf FE-Projekte, in: Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.), a.a.O., S.225-235
- Gries, Werner: Ausbildung, Forschung und Wirtschaftswachstum, Meisenheim am Glan, 1971
- Griliches, Zvi: Forschungskosten und gesamtwirtschaftliche Erträge: Maishybriden und verwandte Innovationen, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.215-233
- Grinold, Richard C.: Mathematical Programming Methods of Pattern Classification, in: MS, Vol.19, 1972, S.272-289
- Grosche, Klemens: Das Produktionsprogramm, seine Änderungen und Ergänzungen, Berlin 1967
- Gürtzgen, Winfried: Forschung und Entwicklung als industrielle Investition, Diss. Köln 1966
- Gustafson, Eric: Research and Development, New Products and Productivity Change, in: AER, Vol.52, 1962, Bd.II, S.177-185
- Gutenberg, Erich: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band, Die Produktion, 23.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1979
- Gzuk, Roland: Messung der Effizienz von Entscheidungen, Tübingen 1975
- Hackett, James W.: Evaluating the Results of Research, in: Bright, James R. (Hrsg.), a.a.O., S.227-241
- Hammann, Peter und Bernd Erichson: Marktforschung, Stuttgart-New York 1978
- Hansohm, J.; O. Opitz: Identification with Qualitative Data, o.O. 1981

- Hansohm, J.; H. Ott; N. Turulski: Integriertes Datenanalyse-
 Programmsystem für Empirische Sozialforschung und
 numerische Taxonomie, Arbeitspapiere zur Mathemati-
 schen Wirtschaftsforschung, Heft 55, Augsburg 1982
- Harris, J.S.: New Product Profile Chart, in: Chemical and
 Engineering News, Vol.39, 1961, S.110-118
- Hart, A.: A Chart for Evaluating Product Research and Deve-
 lopment, in: Operational Research Quarterly, Vol.17,
 1966, S.347-358
- Heberlein, Georg: Schweizerische Wissenschaftspolitik und
 industrielle Unternehmung, in: Siegwart, Hans (Hrsg.),
 a.a.O., S.19
- Heinen, Edmund: Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entschei-
 dungen. Das Zielsystem der Unternehmung, 3.Aufl.,
 Wiesbaden 1976
- Hennecke, Hans Ulrich: Verfahren zur Beurteilung von Vor-
 schlägen für industrielle Forschungs- und Entwicklungs-
 projekte: Ihre Grenzen und Möglichkeiten, Diss. Saar-
 brücken 1975
- Heno, Rudolf: Kreditwürdigkeitsprüfung mit Hilfe von Ver-
 fahren der Mustererkennung, Diss. Mainz 1983
- Hertz, David B.: The Theory and Practice of Industrial Re-
 search, New York-Toronto-London 1950
- Hertz, David B. und Phillip G. Carlson: Selection, Evaluation
 and Control of Research and Development, in: Dean,
 Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research
 and Development, a.a.O., S.170-188
- Heudorfer, Michael: Zur Ex-Ante-Bewertung und Auswahl von
 Forschungs- und Entwicklungsprojekten in Industrie-
 unternehmungen, Diss. Karlsruhe 1977
- Heuer, Georg Christian: Forschung und technischer Fortschritt,
 Meisenheim am Glan, 1970
- Heuer, Georg: Wie läßt sich der Erfolg industrieller For-
 schungs- u. Entwicklungsvorhaben voraussagen? in:
 Industrielle Organisation, Jg.45, 1976, S.72-74
- Hielscher, Udo; Gerhard Dorn; Gerhard Lampe: Innovations-
 finanzierung mittelständischer Unternehmungen,
 Stuttgart 1982
- Hinterhuber, Hans H.: Innovationsdynamik und Unternehmens-
 führung, Wien-New York 1975
- Hodge, M.H.: Rate Your Company's Research Productivity, in:
 HBR, Vol.41, H.6., 1963, S.109-122
- Holdermann, Fritz: Separierung durch Kaskadenschaltung von
 Schwellwertelementen, Diss. Karlsruhe 1969

- Horowitz, Ira: Regression Models for Company Expenditures on and Returns from Research and Development, in: IRE, Vol.EM-7, 1960, S.8-13
- ders.: Evaluation of the Results of Research and Development, in: IEEE, Vol.EM-10, 1963, S.42-51
- Hostettler, Werner Fritz: Bestimmungsfaktoren der industriellen Forschung und Entwicklung, Zürich 1972
- Huch, Burkhard: Forschung und Entwicklung - ein betriebsnotwendiger Tatbestand, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.619-622
- Hüttner, Manfred: Informationen für Marketing-Entscheidungen, München 1979
- Hughes, E.C.: Evaluation of R + D, in: RM, Vol.10, 1967, S.353-369
- Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung (Hrsg.): Innovation in der Wirtschaft, 2.Aufl., München 1970
- Isenson, R.S.: Allowed Degrees and Type of Intellectual Freedom in Research and Development, in: IEEE, Vol.EM-12, 1965, S.113-115
- Jacot, Simon-Pierre: Planung und Erfolgskriterien der Forschung und Entwicklung, in: Siegwart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.61-66
- Johnson, Jacob und Jack Moshman: RAMPS - A Technique for Resource Allocation and Multi-Project Scheduling, in: Cetron, Marvin J. und Joel D. Goldhar (Hrsg.), a.a.O., S.1429-1449
- Kamp, Ernst u. Eva May: Forschung und Entwicklung in kleinen und mittleren Unternehmen, in: ZfB, 51.Jg., 1981, S.347-369
- Kantzenbach, Erhard: Innovation und Unternehmensgröße, in: Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung (Hrsg.), a.a.O., S.220-228
- Kaufer, Erich: Die Ökonomie von Forschung und Entwicklung. Die Mikroökonomie des technischen Fortschritts in wettbewerbstheoretischer Sicht, in: Ernst Joachim Mestmäcker (Hrsg.): Wettbewerb als Aufgabe, Bad Homburg v.d.H.-Berlin-Zürich 1968, S.399-488
- Kaufmann, Heinz und Heinz Pape: Clusteranalyse, in: Fahrmeir, Ludwig und Alfred Hamerle (Hrsg.): Multivariate statistische Verfahren, Berlin-New York 1984, S.371-472
- Kern, Fritz: Forschung und Unternehmensgröße, in: Siegwart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.41-49
- Kern, Werner: Industriebetriebslehre, 2.Aufl., Stuttgart 1974
- Kern, Werner u. Hans-Horst Schröder: Forschung und Entwicklung in der Unternehmung, Reinbek 1977

- Klein, Burton H.: The Decision Making Problem in Development, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.477-497
- Knight, Kenneth E.: A Descriptive Model of the Intra-Firm Innovation Process, in: JoB, Vol.40 1967, S.478-496
- Kortzfleisch, Gert von: Forschungen über die Forschung und Entwicklung, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.558-572
- ders.: Zur mikroökonomischen Problematik des technischen Fortschritts, in: Kortzfleisch, Gert von (Hrsg.): Die Betriebswirtschaftslehre in der zweiten industriellen Evolution, Berlin 1969, S.323-349
- Kosiol, Erich: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1968
- Kowalski, Ulrich: Der Schutz von betrieblichen Forschungs- und Entwicklungsergebnissen, Thun - Frankfurt/Main 1980
- Küng, Emil: Forschung und Produktivität, in: Volkswirtschaftsliche Korrespondenz der Adolf-Weber-Stiftung, 4.Jg., 1965, Nr.34, o.S.
- Kuhn, Alfred: Erfolgsmaßstäbe in Forschung u. Entwicklung, in: Neue Betriebswirtschaft, 22.Jg., 1969, S.1-12
- Kunze, Dieter M.; Hans-Dieter Blank; Detlev Simons: Nutzwertanalyse als Entscheidungshilfe für Planungsträger, KTBL-Schrift 184, 2.Aufl., Hiltrup 1974
- Kuznets, Simon: Inventive Activity: Problems of Definition and Measurement, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.19-43
- Lahner, M. und E. Ulrich: Analyse von Entwicklungsphasen technischer Neuerungen, in: Mitteilungen des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Nr.6, Erlangen 1969, S.417-446
- Latz, Hans: Forschung und Entwicklung, Unternehmensgröße und Technischer Fortschritt in der Eisen- und Stahlindustrie - eine empirische Untersuchung -, Diss. Saarbrücken 1971
- Layton, E.: Conditions of Technological Development, in: Spiegel-Rösing, Ina und Derek de Solla Price (Hrsg.), a.a.O., S.197-222
- Lazarcik, G.: Scientific Research, Earnings and Stock Prices, in: Financial Analysts Journal, Vol.18, 1962. S.49-53
- Lehman, Harvey C.: The Age Decrement in Outstanding Scientific Creativity, in: The American Psychologist, Vol.15, 1960, S.128-134
- Lenel, H.O.: Ursachen der Konzentration, 2.Aufl., Tübingen 1968

- Lennings, Manfred: Kampf um knappes Kapital, in: Manager-Magazin, 11.Jg., 1981,H.7, S.54-58
- Levin, Rihard C.: The Semiconductor Industry, in: Nelson, Richard R. (Hrsg.): Government and Technical Progress, New York-Oxford-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt 1983, S.9-100
- Lipetz, Ben-Ami: The Measurement of Efficiency of Scientific Research, Carlisle, Mass., 1965
- Machlup, Fritz: Die Produktivität der naturwissenschaftlichen und technischen Forschung und Entwicklung, in: Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 122, 1963, S.37-64
- ders.: Patente und der Aufwand für Forschung und Entwicklung, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.161-172
- ders.: The Supply of Inventors and Inventions, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.143-167
- ders.: The Production and Distribution of Knowledge in the United States, Princeton, N.J. 1962
- Machowetz, Josef: Zur Ermittlung des ökonomischen Nutzens von Vorhaben der Forschung und Entwicklung, in: Wirtschaftswissenschaft, 14.Jg., 1966, S.1937-1952
- Mahoney, M.J.: Publication Prejudices: An Experimental Study of Confirmatory Bias in the Peer Review System, in: Cognitive Therapy and Research, Vol.1, 1977, S.161-175
- Malcolm, Donald G.: Integrated Research and Development Management System, in: Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research ind Research and Development, a.a.O., S.124-128
- Mansfield, Edwin: The Process of Technical Change, in: Tybout, Rihard A. (Hrsg.): Economics of Research and Development, Columbus, O., 1965, S.136-147
- ders.: Industrial Research and Technological Innovation, New York 1968
- ders.: Technological Change, New York 1971
- Mansfield, Edwin; John Rapoport; Jerome Schnee; Samuel Wagner; Michael Hamburger: Research and Innovation in the Modern Corporation, New York 1971
- Marquis, D.G. und D.M. Straight: Organizational Factors in Project Performance, in: Yovits, M.C., D.M Gilford, R.H. Wilcox, E.Stavely, H.D. Lerner (Hrsg.), a.a.O., S.441-458
- Marr, Rainer: Innovation, in: HWO, Sp.947-959
- ders.: Innovation und Kreativität, Wiesbaden 1973

- Marshall, A.W. und W.H. Meckling: Prognostizierbarkeit von Kosten, Dauer und Erfolg von Entwicklungsvorhaben, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.392-408
- Martino, Joseph: Citation Indexing for R + D -Management, in: Cetron, Marvin J. und Joel D. Goldhar (Hrsg.), a.a.O., S.1503-1513
- Maslow, Abraham H.: Motivation and Personality, 2.Aufl., New York-Evanston-London 1970
- Mc.Graw-Hill Dept. of Economics: Business Plans for New Plant and Equipment, 1958-61 and 1960-63, o.D.
- Mc Ilvain, J.M.: The Research Budget, in: Furnas, C.C. (Hrsg.): Research in Industry, Toronto-London 1948, S.145-158
- Mc Neil, W.J.: Evaluating the Cost and Utility of Industrial Research and Development, in: Rubenstein, Albert H. (Hrsg.), a.a.O., S.236-245
- Mechlin, George F. und Daniel Berg: Evaluating Research - ROI is not enough, in: HBR, Vol.58, H.5, 1980, S.93-99
- Meffert, Heribert: Marketing, 6.Aufl., Wiesbaden 1982
- Meier, Jens: Gemeinschaftsforschung und fachbezogene Wissenschaftsforschung, Essen-Bredeney, 1961
- Meierhofer, Lukas: Projektselektion in der Forschungsförderung, Diss. Basel 1983
- Meisel, William S.: Computer - Oriented Approaches to Pattern Recognition, New York-London 1972
- Mellerowicz, Konrad: Forschungs- und Entwicklungstätigkeit als betriebswirtschaftliches Problem, Freiburg 1958
- ders.: Die Organisation des Forschungs- und Entwicklungsreiches, in: Schnauffer, Erich und Klaus Agthe (Hrsg.): TFB-Hanbuchreihe, Erster Band, Berlin-Baden-Baden 1961, S.633-678
- Mensch, Gerhard: Zur Dynamik des technischen Fortschritts, in: ZfB, 41.Jg., 1971, S.295-313
- ders.: Basisinnovationen und Verbesserungsinnovationen, in: ZfB, 42.Jg., 1972, S.291-297
- ders.: Das technologische Patt, Frankfurt/Main 1975
- Mertens, Peter: Die Theorie der Mustererkennung in den Wirtschaftswissenschaften, in: ZfbF, 29.Jg., 1977, S.777-794
- Miller, R.W.: How to Plan and Control with PERT, in: HBR, Vol.40, H.2, 1962, S.83-104
- Minasian, Jora R.: The Economics of Research and Development, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.93-141

- ders.: Research and Development, Production Functions, and Rates of Return, in: AER, Papers and Proceedings, Vol.59, 1969, S.80-85
- Moore, John R. und Norman R. Baker: Computational Analysis of Scoring Models for R and D Project Selection, in: MS, Vol.16, 1969, S. B212-B232
- Mottley, C.M. und R.D. Newton: The Selection of Projects for Industrial Research, in: Operations Research, Vol.7, 1959, S.740-751
- Mueller, Dennis C.: Patents, Research and Development, and the Measurement of Inventive Activity, in: JIE, Vol.15, 1966/67, S.26-37
- Munson, J.H.: Some Views on Pattern-Recognition Methodology, in: Watanabe, Satoshi (Hrsg.), a.a.O., S.417-436
- National Bureau of Economic Research (Hrsg.): The Rate and Direction of Inventive Activity, Princeton 1962
- National Science Foundation (Hrsg.): Funds for Research and Development in Industry 1959, NSF 62-3, Washington 1962
- Naumann, Jens (Hrsg.): Forschungsökonomie und Forschungspolitik, Stuttgart 1970
- Nelson, Richard R.: Introduction to: The Rate and Direction of Inventive Activity, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.3-16
- ders.: Einfache ökonomische Aspekte der wissenschaftlichen Grundlagenforschung, in: Neumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.99-114
- Neuling, Christian: Die Innovation als Investition; Datenbeschaffung und Datengenauigkeit in Forschung u. Entwicklung, Diss. Berlin 1972
- Niemann, Heinrich: Methoden der Mustererkennung, Frankfurt a.M. 1974
- Nutt, A.B.: An Approach to Research and Development Effectiveness, in: IEEE, Vol.EM-12, 1965, S.103-112
- Oberender, Peter: Industrielle Forschung und Entwicklung. Eine theoretische und empirische Analyse bei oligopolistischen Marktprozessen, Bonn 1973
- Olsen, Fred: The Control of Research Funds, in: Rubenstein, Albert H. (Hrsg.), a.a.O., S.99-105
- O'Meara, J.T.: Selecting Profitable Products, in: HBR, Vol.39, H.1, 1961, S.83-89
- Opitz, Otto: Numerische Taxonomie, Stuttgart - Ne York 1980
- Opitz, Otto und Jürgen Hansolm: Identifikation mit qualitativen Daten, in: Marketing, 2.Jg., 1980, S.11-21

- Oxley, Norman: The Problem of Research Evaluation, in: Financial Executive, Vol.29, 1961, S.78-82
- Paschen, Herbert und Helmut Krauch (Hrsg.): Methoden und Probleme der Forschungs- und Entwicklungsplanung, München, Wien 1972
- Paßmann, Bodo: Das Leitungssystem des Forschungs- und Entwicklungsbereiches industrieller Unternehmungen, Diss, Köln 1969
- Pelz, Donald C. und Frank M. Andrews: Scientists in Organization, New York-London-Sydney 1966
- Perlmann, Jacob: Measurements of Scientific Research and Development Activities, in: Dean, Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, a.a.O., S.42-96
- Pfaff, Martin: Experimentelle Untersuchungen zur Entscheidungstheorie: Ihre Bedeutung für die Gestaltung von automatisierten Informations- und Kontrollsystemen, in: Brandstätter, Herrmann und Bernhard Gahlen (Hrsg.): Entscheidungsforschung, Tübingen 1975, S.187-216
- Pfeiffer, Robert: Möglichkeiten und Grenzen der Auftragsforschung, in: Siegwart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.89-97
- Pfeiffer, Werner: Strategisch orientiertes Forschungs- und Entwicklungsmanagement-Probleme und Lösungsansätze aus der Sicht der Wissenschaft, in: Blohm, Hans und Günter Danert (Hrsg.), a.a.O., S.57-94
- Pfeiffer, Werner u. Erich Staudt: Forschung und Entwicklung, betriebliche, in: HWB, Sp.1521-1530
- diess.: Innovation, in: HWB, Sp. 1943-1953
- diess.: Zur Planung von Forschung und Entwicklung in der Unternehmung, in: ZfB, 44.Jg., 1974, S.280-287
- Pfetsch, F.R.: Zum Stand der Innovationsforschung, in: Neu-
loh, Otto und Walter Ruegg (Hrsg.): Innovationsfor-
schung als multidisziplinäre Aufgabe, Göttingen 1975,
S.9-24
- Philipp, Fritz: Risiko und Risikopolitik, Stuttgart 1967
- Plettner, Bernhard: Die Bewältigung des technischen Fortschritts in der Industrie, in: ZfbF, Sonderheft 11, 32.Jg., 1980, S.18-29
- Pöhl, Karl-Otto: Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Fortschritts in den USA, Göttingen 1967
- Poensgen, Otto H. und Helmut Hört: F + E-Aufwand, Firmensituation und Firmenerfolg in: ZfbF, 35.Jg., 1983, S.73-93
- Pons, Alain: Research Management, in: Cetron, Marvin J. und Joel D. Goldhar, (Hrsg.), a.a.O., S.51-63

- Popper, Karl R.: Logik der Forschung, 6.Aufl., Tübingen 1976
- Pound, W.H.: Research Project Selection - Testing a Model in the Field, in: IEEE, Vol.EM-11, 1964, S.16-22
- Pritsker, A.A.B. und W.W. Happ: GERT, Part I Fundamentals, in: Journal of Industrial Engineering, Vol.17, 1966, S.D267-D274
- Prosi, Gerhard: Technischer Fortschritt als mikroökonomisches Problem, Bern 1966
- Quinn, James Brian: How to Evaluate Research Output, in: HBR, Vol.38, H.2, 1960, S.69-80
- ders.: Yardsticks for Industrial Research, New York 1960
- ders.: Top Management Guides for Research Planning, in: Bright, James R. (Hrsg.), a.a.O., S.167-200
- Rand, William M.: Objective Criteria for the Evaluation of Clustering Methods, in: Journal of the American Statistical Association, Vol.66, 1971, S.846-850
- Redmond, John C.: Essential Elements of Research in Industry, in: PM, Vol.10, 1967, S.175-185
- Referat Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft (Hrsg.): Leistung in Zahlen '83, Minden 1984
- Reuter, Joachim F.: Forschungspolitik und Forschungsplanung, Berlin 1970
- ders.: Verfahren zur betrieblichen Entscheidung über den Forschungs- und Entwicklungsaufwand, in: ZfB, 38.Jg., 1968, S.526-552
- Riebel, Paul: Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht, Wiesbaden 1963
- Roberts, E.B.: A Basic Study of Innovators: How to keep and Capitalize on Their Talents, in: RM, Vol.11, 1968, S.249-266
- Roman, Daniel D.: The PERT System: An Appraisal of Program Evaluation Review Technique, in: Cetron, Marvin J. und Joel D. Goldhar (Hrsg.), a.a.O., S.1417-1427
- Rossman, Joseph: Industrial Creativity. The Psychology of the Inventor, New York 1964
- Rubenstein, Albert H. (Hrsg.): Coordination, Control and Financing of Industrial Research, New York 1955
- ders.: Setting Criteria for R + D, in: HBR, Vol.35, H.1, 1957, S.95-104
- ders.: Studies of Projekt Selection Behaviour in Industry, in: Dean Burton V. (Hrsg.): Operations Research in Research and Development, a.a.O., S.189-205

- ders.: Economic Evaluation of Research and Development: A Brief Survey of Theory and Practice, in: JIE, Vol.17, 1967, S.615-620
- ders.: Some Common Concepts and Tentative Findings from a Ten-Project Program of Research on R + D Management, in: Yovits, M.C., D.M. Gilford, R.H. Wilcox, E. Staveland, H.D. Lerner (Hrsg.), a.a.O., S.399-424
- Rückemann, Eckehard: Integrationsformen industrieller Forschung und Entwicklung, Diss. Mannheim 1972
- ders.: Anforderungen an eine Integration der Forschungs- und Entwicklungsaufgabe in das System der Unternehmung, in: Zeitschrift für Organisation, 42.Jg., 1973, S.387-392
- Sanders, Barkev S.: Some Difficulties in Measuring Inventive Activity, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), a.a.O., S.53-77
- Schätzle, Gerhard: Forschung und Entwicklung als unternehmerische Aufgabe, Köln und Opladen 1965
- ders.: Technischer Fortschritt und Produktionsfunktion, in: Moxter, Adolf; Dieter Schneider und Waldemar Wittmann (Hrsg.): Produktionstheorie und Produktionsplanung, Köln und Opladen 1966, S.37-61
- ders.: Unternehmensgröße und Forschungsintensität, in: ZfbF, 24.Jg., 1972, S.607-618
- Schanz, Günther: Kriterien zur Bestimmung der Größe des Forschungsbudgets in Unternehmungen der Industrie-gruppe Elektrotechnik, in: ZfbF, 24.Jg., S.81-90
- ders.: Forschung und Entwicklung in der Elektrotechnischen Industrie der Bundesrepublik Deutschland, Diss. Mannheim 1972
- Schelker, Thomas: Problemlösungsmethoden im Produktinnovationenprozeß, Bern 1976
- Scherer, F.U.: Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions, in: AER, Vol.55, 1965, S.1097-1125
- Schierenbeck, Henner: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, 7.Aufl., München-Wien 1983
- ders.: Beteiligungsentscheidungen, Berlin 1973
- Schlegel, Harto: Produktbewertungsmodelle, in: WiSt, 4.Jg., 1975, S.464-471
- Schmidt, Götz: Produkt-Innovation und Organisation, Diss. Gießen 1969
- Schmitt-Grohe, Jochen: Produktinnovation, Wiesbaden 1972

- Schmookler, Jacob: Invention and Economic Growth, Cambridge, Massachusetts 1966
- Schmookler, Jacob und Oswald Brownlee: Einige Bestimmungsfaktoren erfinderischer Aktivität, in: Naumann, Jens (Hrsg.), a.a.O., S.173-186
- Scholz, Christian: Pattern Analysis, Regensburger Diskussionsbeiträge zur Wirtschaftswissenschaft No.162, Regensburg 1983
- ders.: Strategische Branchenanalyse durch Mustererkennung, in: ZfB, 55.Jg., 1985, S.120-141
- Scholz, Lothar: Technologie und Innovation in der industriellen Produktion, Göttingen 1974
- Schröder, Hans-Horst: Forschung und Entwicklung, in: HW Prod, Sp.627-642
- ders.: Zum Problem einer Produktionsfunktion für Forschung und Entwicklung, Meisenheim am Glan 1973
- ders.: The Quality of subjective Probabilities of technical Success in R + D, in: RDM, Vol.6, 1975, S.15-22
- Schuchard-Ficher, C.; K. Backhaus; U. Humme; W. Lohrberg; W. Plinke; W. Schreiner: Multivariate Analysemethoden, 3.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1985
- Schuchard-Ficher, C.; K. Backhaus; W. Plinke; B. Erichson; R. Weiber: Multivariate Analysemethoden, 4.Aufl., i.V.
- Schückher, Hertha und Franz Schückher: Forschung in der Industrie, in: IO, 33.Jg., 1964, S.155-161
- Schumpeter, Joseph A.: Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie, München 1950
- ders.: Konjunkturzyklen, Göttingen 1961
- Schwetlick, Wolfgang: Forschung und Entwicklung in der Organisation industrieller Unternehmen, Berlin 1973
- Sebestyen, George S.: Decision-Making Process in Pattern Recognition, New York-London 1962
- Seiler, Robert E.: Improving the Effectiveness of Research and Development, New York et al. 1965
- Shepard, Herbert A.: Creativity in R/D Teams, in: Research and Engineering, October 1956, S.10-13
- Sher, Irving H. und Eugene Garfield: New Tools for Improving the Effectiveness of Research, in: Yovits, M.C., D.M. Gilford; R.H. Wilcox; E. Stavely; H.D. Lerner (Hrsg.), a.a.O., S.135-146
- Sieglwart, Hans (Hrsg.): Forschung und Entwicklung als Aufgabe der Unternehmensführung, Bern 1970

- Soistman, E.C.: Research and Development Can be Controlled,
in: RM, Vol.9, 1966, S.15-27
- Solla Price, Derek J. de: Little Science, Big Science,
Columbia University Press, 1963
- Solow, R.M.: Technical Change and the Aggregate Production
Function, in: The Review of Economics and Statistics,
Vol.39, 1957, S.312-320
- Sommerlatte, Tom und Manfred Wennemer: Roßkur für die For-
schung, in: Manager-Magazin, 9.Jg., 1979, H.11,
S.132-140
- Souder, William E.: Utility and Perceived Acceptability of
R + D Project Selection Models, in: MS, Vol.19, 1973,
S.1384-1394
- ders.: Achieving Organizational Consensus with Respect to
R + D Project Selection Criteria, in: MS, Vol.21,
1975, S.669-681
- Späth, Helmut: Cluster-Analyse Algorithmen zur Objektklassi-
fizierung und Datenreduktion, München-Wien 1977
- ders.: (Hrsg.): Fallstudien zur Cluster-Analyse, München-Wien
1977
- Spiegel-Rösing, Ina S.: Messung der Forschungsleistung:
Kontext der Fragestellung und Stand der Forschung,
in: Bundesminister für Bildung und Wissenschaft
(Hrsg.), a.a.O., S.1-14
- dies.: Zur Messung der Forschungsleistung von Institutionen:
Wissenschaftliche Produktivität westdeutscher Uni-
versitäten. Eine explorative Untersuchung, in:
Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.),
a.a.O., S.15-80
- Spiegel-Rösing, Ina und Derek J. de Solla Price (Hrsg.):
Science, Technology and Society, London-Beverly Hills
1977
- Stahl, Michael J.: Innovation and Productivity in Research
and Development: Some Associated Individual and
Organizational Variables, Diss. Rensselaer Poly-
technic Institute, Troy, New York 1975
- Stanley, A.O., K.K. White: Organizing the R + D-Function,
AMA Research Study 72, 1965
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch
1984 für die Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart
und Mainz 1984
- Staudt, Erich (Hrsg.): Innovationsförderung und Technologie-
transfer, Berlin 1980
- Staudt, Erich; Wilhelm Schmeisser; Berthold Schwarz: Der
Betrieb als Objekt der Technologiepolitik, in:
Staudt, Erich (Hrsg.), a.a.O., S.11-31

- Steck, Rudolf: Forschung und Entwicklung, Ablaufplanung für die, in: HW Prod, Sp.642-652
- ders.: Organisation der Forschung und Entwicklung in multidivisionalen und multinationalen Unternehmen in: Zeitschrift für Organisation, 41.Jg., 1972, 1.Teil S.19-25, 2.Teil S.90-94
- Steimel, Karl: der Standort der Industrieforschung in Forschung und Technik, in: Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 122, 1963, S.7-36
- Steinbrink, K.: Grundlagen zur Verbesserung von Information und Entscheidung im Bankbetrieb, Diss. Köln 1975
- Steiner, Manfred und Martin Rössler: Zukunftsorientierte Bilanzanalyse und ihre Prognosequalität, in: BFuP, 28.Jg., 1976, S.440-453
- Steinhausen, Detlef und Klaus Langer: Clusteranalyse, Berlin-New York 1977
- Steinhofer, A.: Industrielle Forschung, in: Studium Generale Jahrg. 16, 1963, S.267-273
- Stewart, N. und W. Sparks: Patent Productivity of Research Chemists as Related to Age and Experience, in: Personnel and Guidance Journal, Vol. 45, 1966, S.28-36
- Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg.): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 1977, Arbeitsschrift A, 1980
- Strack, Heinz: Kreditbewertungsverfahren zur Analyse des Kreditrisikos, Diss., Berlin 1975
- Strebel, Heinz: Unsicherheit und Risiko der industriellen Forschung und Entwicklung, in: BFuP, 20.Jg., 1968, S.193-214
- ders.: Die Bedeutung von Forschung und Entwicklung für das Wachstum industrieller Unternehmen, Berlin 1968
- ders.: Scoring-Methoden als Entscheidungshilfen bei der Wahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, in: Layer, Manfred und Heinz Strebel (Hrsg.): Rechnungswesen und Betriebswirtschaftspolitik, Festschrift für Gerhard Krüger, Berlin 1969, S.251-278
- ders.: Forschungsplanung mit Scoring-Modellen, Baden-Baden, 1975
- ders.: Innovation und ihre Organisation in der mittelständischen Industrie - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung - Berlin 1979
- Taylor, C.W. und R.L. Ellison: Biographical Predictors of Scientific Performance, in: Science, Vol.55, 1967, S.1075-1080

- Terleckyj, N.E.: Sources of Productivity Advance: A Pilot Study of Manufacturing Industries 1899-1953, Diss. Columbia University, New York N.Y. 1960
- Thesen, Ephraim: Die Methodik der Bewertung industrieller Forschungs- und Entwicklungsprojekte
Diss. Berlin 1977
- Thom, Norbert: Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagements, 2.Aufl., Königstein/Ts. 1980
- Thurstone, L.L.: A Law of Comparative Judgement, in: Psychological Review, Vol.34, 1927, S.272-286
- Tilles, Seymour: Strategies for Allocating Funds, in: HBR, Vol.44, H.1, 1966, S.72-80
- Torgerson, Warren S.: Theory and Methods of Scaling, 7.Aufl., New York 1967
- Uhlmann, Luitpold: Der innovationsprozeß in westeuropäischen Industrieländern. Band 2: Der Ablauf industrieller Innovationsprozesse, Berlin 1978
- Ulrich, Peter und Edgar Fluri: Management, 3. Aufl., Bern und Stuttgart 1984
- Unterguggenberger, Silvio: Betriebswirtschaftliche Überlegungen zur Problematik der Forschungs- und Entwicklungskosten für neue Industrieerzeugnisse, in: ZfB, 42.Jg., 1972, S.263-282
- Villers, R.: Research and Development: Planning and Control, New York 1964
- Vogel, F.: Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation, Göttingen 1975
- Vogt, W.: Theorie des wirtschaftlichen Wachstums, Berlin-Frankfurt 1968
- Vollmer, Howard U.: Evaluating Two Aspects of Quality In Research Program Effectiveness in: Yovits, M.C.; D.M. Gilford; R.H. Wilcox; E. Stavely; H.D. Lerner (Hrsg.), a.a.O., S.147-167
- Walter, Helmut: Technischer Fortschritt I: in der Volkswirtschaft, in: HdWW, S.569-583
- ders.: Der technische Fortschritt in der neueren ökonomischen Theorie, Berlin 1969
- Walter, Herbert: Venture Capital in Deutschland, in: Die Bank, 23.Jg., 1983, S.560-565
- Watanabe, Satosi (Hrsg.): Methodologies of Pattern Recognition, New York-London 1969
- Weber, Paul-Günter: Forschung und Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland und ihre staatliche Förderung, Diss. Berlin 1978

- Weibel, Peter F.: Die Aussagefähigkeit von Kriterien zur Bonitätsbeurteilung im Kreditgeschäft der Banken
Diss. Bern 1973
- Weiber, Rolf: Dienstleistungen als Wettbewerbsinstrument im internationalen Anlagengeschäft, Diss. Mainz 1985
- Weinberger, A.J.: Economic Evaluation of R + D Projects, in: Chemical Engineering, Vol.70, 1963, Part I, S.123-126
- Weinrich, Günter: Kreditwürdigkeitsprognosen, Wiesbaden 1978
- Weiss, Ulrich (Hrsg.): Das Patentgesetz, 6.Aufl., Köln-Berlin-Bonn-München 1973
- Wellinger, Roger: Möglichkeiten und Grenzen der Gemeinschaftsforschung, in: Siegart, Hans (Hrsg.), a.a.O., S.85-88
- Whitley, Richard und Penelope A.Frost: The Management of Performance in Research, in: Human Relations, Vol.24, 1971, S.161-178
- Wishart, David: Clustan Benutzerhandbuch, 3.Ausgabe, Stuttgart-New York 1984
- Witte, Eberhard: Forschung, Werbung und Ausbildung als Investitionen, in: Ortlieb, Heinz Dietrich (Hrsg.): Hamburger Jahrbuch für Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik, 7.Jahr, Tübingen 1962, S.210-226
- ders.: Organisation für Innovationsentscheidungen, Göttingen 1973
- Wittmann, Waldemar: Information, in: HWO, Sp.894-904
- ders.: Unternehmung und unvollkommene Information, Köln und Opladen 1959
- Yovits, M.C., D.M. Gilford, R.H.Wilcox, E. Stavely, H.D. Lerner (Hrsg.): Research Program Effectiveness, New York 1966
- Zangemeister, Christof: Nutzwertanalyse, in: Tumm, Günter W. (Hrsg.): Die neuen Methoden der Entscheidungsfindung, München 1972, S.264-285
- ders.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 4. Aufl., München 1976
- Zenz, Philipp: Die betriebswirtschaftliche Beurteilung von Forschungs- und Entwicklungsleistungen im Industriebetrieb, Thun-Frankfurt a.M. 1981

LEBENS LAUF

Angaben zur Person:

Geboren: 14. August 1957 in Bernkastel-Kues

Eltern: Kaufleute Ruth Conen (geb. Krämer)
und Robert Conen

Ausbildung:

Schule: Grundschule Bernkastel-Kues von
1963 bis 1968; Nikolaus-von-Kues
Gymnasium Bernkastel-Kues von 1968
bis 1977;
Abitur 1977

Universität: Studium der Volkswirtschaftslehre
an der Johannes Gutenberg-Universi-
tät Mainz vom SS 1978 bis SS 1983.
Abschluß zum Diplom-Volkswirt im
November 1983.
Von Frühjahr 1984 bis Frühjahr 1986
Anfertigung einer Doktorarbeit am
Fachbereich Rechts- und Wirtschafts-
wissenschaften der Johannes Guten-
berg-Universität Mainz.

Praxis: Verschiedene Industriepraktika vor und nach
dem Studium, verbunden mit mehreren längeren,
geschäftlichen Aufenthalten in den Staaten
der ASEAN-Gemeinschaft.

